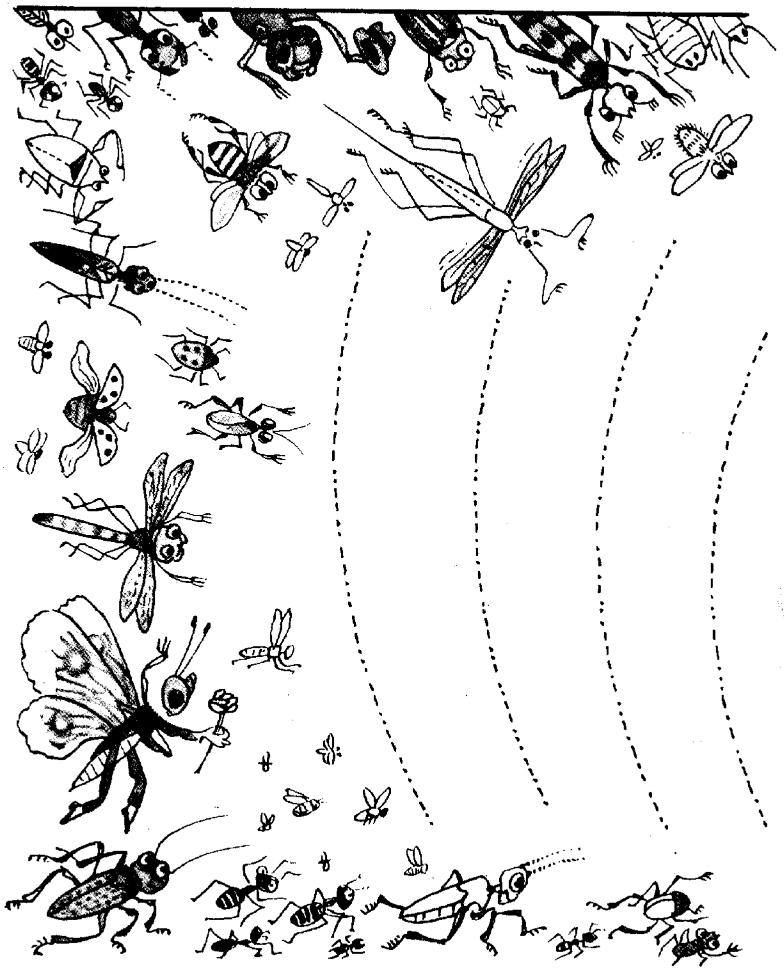
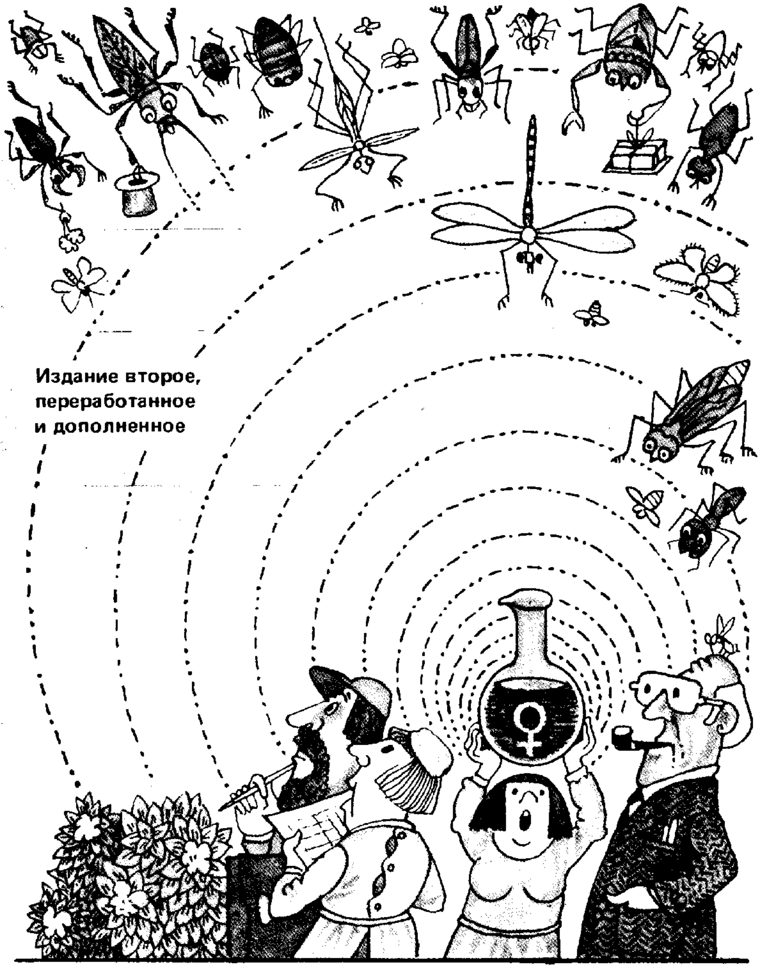
В. М. БАЛАЯН, Р. М. КОРОТКИЙ



Химический язык насекомых



Издание второе, переработанное и дополненное

МОСКВА ВО "АГРОПРОМИЗДАТ" 1987

595.7 : 591.5
Б 20

ББК 28.691.89
Б20
УДК 595.7 : 591.487

Рецензент: Начальник отдела Управления защиты растений объединения «Союзсельхозхимия» Госагропрома СССР *Г. И. Лебедев*

Днепропетровский
Госуниверситет
БИБЛИОТЕКА
1477258

Балаян В. М., Короткий Р. М.

Б20 Химический язык насекомых. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1987. — 140 с.: ил.

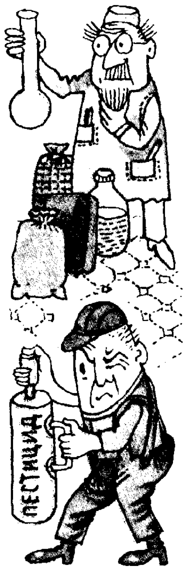
В жизни насекомых чрезвычайно большую роль играют запахи. Общаясь между собой при помощи пахучих молекул-феромонов, шестиногие «рассказывают» об источнике пищи, образуют брачные пары, охраняют свое жилище, метят «владения». О том, как ученые разгадали тайну химического языка насекомых, синтезировали феромоны в лабораториях и разработали способы их практического применения, узнает читатель этой книги.

Ее с увлечением прочтут те, кто интересуется прикладной энтомологией и вопросами охраны окружающей среды.

Б $\frac{3803040000-262}{035(01)-87}$ 260—87 ББК 28.691.89

© ВО «Агропромиздат», 1987

ОТ АВТОРОВ



Люди не жалеют никаких затрат, применяют самые губительные средства и все же не в силах стереть с лица Земли вредящих им насекомых. Иногда человек довольствуется только тем, что сдерживает размножение некоторых видов в каких-то определенных границах, на каком-то определенном уровне.

Карл Фриш

Слова известного ученого, профессора зоологии Карла Фриша открывают эту книгу не случайно. Авторы попытаются продолжить мысль исследователя о взаимоотношениях между миром насекомых и человеком. В нашем небольшом путешествии в страну насекомых мы познакомимся как с полезными, так и с вредными ее обитателями, доставляющими немало хлопот человечеству.

Земной шар населяет более миллиона разнообразнейших видов насекомых. Им уже более 300 млн. лет. Младшие братья растений и старшие братья человека, они настоящие хозяева нашей планеты. Эти небольшие по размерам существа играют чрезвычайно важную роль в природе и жизни людей. Насекомые участвуют в почвообразовании и биологическом круговороте,

регулируют численность животных и растений. Мы хорошо знаем друзей: пчел, снабжающих нас медом, шелкопряда — искусного прядильщика шелковых нитей, крылатых опылителей, которым обязаны своим существованием многочисленные виды цветковых растений.

Вредят человеку примерно 2% видов насекомых, но ущерб, наносимый ими, огромен. Летающие и ползающие шестиногие опустошают поля и огороды, уничтожают сады и леса. Колорадский жук хозяйничает на кустах картофеля, точильщики пронизывают своими ходами ценные породы древесины, а яблонная плодожорка и амбарный долгоносик уничтожают плоды человеческого труда в садах и хранилищах. Достается и жителям городов. Тараканы рыскают по кухням, моль устраивается в шкафах, приводя в панику хозяек, клопы, комары, блохи и вредители комнатных растений дополняют картину.

Да, эти некогда безразличные человеку маленькие существа противостоят современной человеческой цивилизации. И не удивительно, что отношение человека к ним часто определяется не одним только разумом. Подчас верх берут эмоции: бороться всеми средствами, истреблять, стереть с лица Земли!

Соблазнительно и, кажется, довольно просто взять и уничтожить, но как раз здесь и кроется опасность для человека. Война с насекомыми настолько ослепила нас, что человечество забыло о последствиях их уничтожения для жизни других обитателей планеты.

Казалось бы, что жалеть насекомых — их больше миллиона видов. Однако часто, объявляя войну маленьким разбойникам, мы наносим вред рыбам и птицам, рептилиям и млекопитающим. Насекомых уже занесли в Красную книгу наравне с сумчатым волком и орангутангом, и заметно, что в последние годы стало меньше ярких, расписанных чудесными узорами бабочек, пестрых стрекоз и жуков, без которых меркнут живые краски природы.

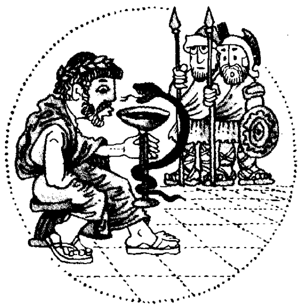
История борьбы человека с вредными насекомыми полна драматизма и курьезов. Далеко не всегда победу праздновал Homo sapiens. Начиная со средневековья, когда нашествия полчищ саранчи и других шестиногих объясняли «божьей карой», и до настоящего времени человеческий разум упорно искал эффективные

средства борьбы с насекомыми. От ручного сбора и уничтожения личинок и гусениц до пестицидов третьего поколения совершенствовал свой боевой арсенал человек.

Небывалого расцвета достигла промышленность, производящая химическое оружие против вредителей, после второй мировой войны. Огромная армия химиков и энтомологов изо дня в день трудится над созданием новых высокотоксичных химических ядов. Фантастические суммы тратят государства на войну с насекомыми. И несмотря на то, что создание одного яда, по данным зарубежных исследований, требует не менее 8 лет упорного труда тысяч людей, только единственное из 10 тыс. химических соединений поступает в руки защитников полей и садов. Продолжительность жизни такого ядохимиката полностью зависит от насекомых.

По преданию Митридат VI Евпатор, правивший Понтийским и Боспорским царствами (II—I в. до н. э.), обладал удивительным для человеческого организма свойством. Постоянно остерегаясь быть отравленным придворными, он еще в молодые годы стал систематически изучать ядовитые растения и принимать в малых дозах получаемые из них яды. От длительного их потребления царь приобрел иммунитет. Часто способность насекомых вырабатывать устойчивость к химическому оружию называют митридатизацией, по имени хитроумного монарха.

Огромный вред наносит химическое оружие и окружающей среде, но пока отказаться от ядов мы не можем, и тысячи патентов выдаются химикам на новые инсектициды (химические препараты для борьбы с насекомыми-вредителями).



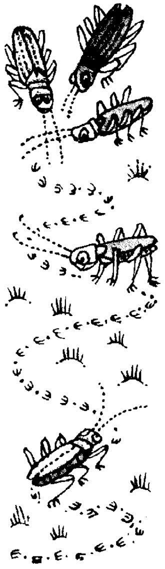
Где же выход из сложившегося положения? Учитывая опыт войны с насекомыми, горечь поражений и радость

побед, человек активно ведет поиск возможных путей решения этого затянувшегося конфликта. Все новые и новые данные получают при исследовании гормонов, которые регулируют рост и развитие вредителей, из растений и тел насекомых извлекают вещества, привлекающие и отпугивающие шестиногих. Изобретая новые средства борьбы, люди обратились к миру других живых существ — врагам наших врагов. К себе на помощь Homo sapiens призвал бактерии и микроскопические грибы, птиц и вирусы, а также союзников из страны насекомых. Все последние достижения науки и техники, включая звуковые и электромагнитные генераторы, рентгеновские лучи и лазеры, испытал человеческий род против ползающих и летающих неприятелей.

Для решения проблемы объединились ученые различных специальностей: энтомологи и химики, математики и экологи. Генеральный штаб исследователей разрабатывает стратегические программы защиты растений. Предлагаются различные рецепты чудо-оружия, но ученые все чаще выступают за разумное регулирование численности насекомых с применением безопасных для окружающей среды средств. Нам жить вместе — этот простой и высоконравственный принцип отношения к природе ложится в основу создания новых средств-регуляторов роста популяций (совокупностей особей определенных видов) насекомых.

О поисках и находках ученых, о проникновении их в тайны общения мира наших маленьких соседей по планете и расшифровке химического языка шестиногих расскажет эта книга. Читатель узнает, как, изучив инстинкты насекомых и значение запахов в их жизни, энтомологи и химики предложили использовать различные привлекающие вещества для охоты на вредных насекомых в садах, на полях и огородах. Новая тактика защиты урожая имеет большое будущее, так как не приносит вреда окружающей природе и рассчитана не на полное уничтожение тех или иных видов, а на сокращение численности популяции до порога вредоносности.

ЗАПАХИ В ЖИЗНИ НАСЕКОМЫХ



АЗБУКА ОБЩЕНИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Многообразен мир животных, и каждый существующий вид в своей жизни пользуется довольно сложной и своеобразной сигнализацией. Среди различных способов передачи информации в животном мире значительная роль отводится запахам. Животные и растения подают с помощью летучих молекул специфические сигналы, без которых невозможна нормальная жизнедеятельность этих организмов. Такая химическая коммуникация — общебиологическое явление и встречается у представителей различных ступеней эволюционной лестницы: от бактерий до человека. Причем в качестве сигналов животные организмы используют очень разнообразный набор химических соединений, которые служат своеобразной азбукой этого языка. Нередко кодирование информации осуществляется не одним каким-нибудь веществом, а смесью пахучих молекул. Это в значительной степени расширяет возможности химического общения между животными, но затрудняет работу исследователей по расшифровке значений их языка.

Наряду с обонянием живые существа пользуются зрением, слухом, осязанием и другими органами вос-

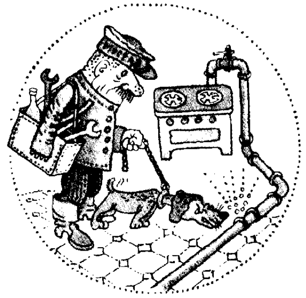
приятия и передачи информации, которые в зависимости от уровня развития организма могут играть в общении различную роль. Однако большинство ученых считает, что химическая сигнализация при помощи запахов — один из самых древних способов общения и обмена информацией между живыми организмами.

А сколько нераскрытых тайн связано с химическим языком животных! Нередко эти загадки вдохновляли не только исследователей, но и писателей-фантастов. Так, в одном из своих романов Клиффорд Саймак нарисовал картину захвата нашей планеты космическими пришельцами, которые незаметно стали вмешиваться в законы развития человеческого общества. Оставаясь инкогнито, они поставили земную цивилизацию почти на грань катастрофы. Казалось бы, неминуем печальный конец, но в последний момент обнаружилась ахиллесова пята инопланетян. Коварные планы пришельцев из космоса нарушил небольшой пушистый зверек — скунс. Оказалось, что испускаемый скунсами запах обладает магическим свойством привлекать невидимых врагов. Молекулы этого вещества лишили захватчиков рассудка, и они обнаружили себя. Оставив все свои притязания и забыв о цели визита на Землю, инопланетяне устремились к источнику мускуса.

Фантазия писателя основана на реально существующем явлении, ведь пахучие молекулы действительно играют чрезвычайно большую роль в жизни некоторых видов животных.

Большинство из нас, кто по рассказам, а кто на собственном опыте, знакомы с запахом мускуса. Это остропахнущее вещество выделяют железы самца мускусной кабарги, который привлекает им самку. Кроме этого животного, обитающего в горах Центральной Азии, аналогичный запах испускает и американский скунс.

Есть и другие летучие соединения, которыми пользуются живые организмы для своих «химических разговоров». Сложна и разнообразна азбука запахов в мире животных. Пахучие молекулы привлекают самца к самке и, отмечая границы «владений», создают своеобразный запаховый барьер для незваных гостей, а также служат невидимыми ориентирами для сородичей, позволяя им находить друг друга



в дебрях окружающего мира. Используя химические сигналы, животные сообщают об опасности во время нашествия врагов, а при необходимости «химический телеграф» помогает собрать «соплеменников» в одном месте.

Для того чтобы выделить все многообразие этих таинственных молекул из огромного числа других химических соединений, ученые после длительных споров решили назвать их феромонами. Этот наиболее употребимый сейчас термин образовали, соединив два греческих слова pherein (переносить) и horman (возбуждать, стимулировать). Феромоны — летучие вещества, синтезируемые и выделяемые в окружающую среду живыми организмами. Эти химические соединения вызывают специфическое поведение у особей одного и того же вида.

В настоящее время ученые обнаружили у животных феромоны следа и тревоги, а также половые и агрегационные пахучие вещества. Кроме того, были открыты феромоны — метчики территории.

Сколько прекрасных строк написано об удивительных способностях наших четвероногих друзей — собак отыскивать по невидимым пахучим следам преступников. В экспериментах собаки смогли без труда различать даже членов одной семьи, если среди них не было однояйцевых близнецов. Так, например, если ищейке давали понюхать вещи одного близнеца, не участвовавшего в опыте, она уверенно шла по следу другого.

Собака может служить не только ищейкой или сторожем. Установлено, что, кроме алифатических кислот (масляной, валериановой и др.), ее нос чувствует запах природных углеводородов. Используя собачье обоняние, специалисты довольно быстро определяют утечку в газопроводе и предупреждают аварии.

Кто теперь не знает о феноменальных способностях лососей и угрей находить свои родные места, удаляясь от них на тысячи километров вглубь океанов? Возможно, стаи рыб ориентируются в океане по солнцу и течениям, а подплывая к родным берегам, — по запаху

и вкусу веществ, растворенных в воде. Эти ориентиры помогают обитателям морей и океанов заботиться о продолжении рода, преодолевать все препятствия, достигать места нереста.

По некоторым данным, у рыб обоняние в 3...5 раз тоньше, чем у собак. Кроме того, они могут уловить присутствие жизненно важных соединений на расстоянии до 20 км. Опыты показали, что рыбам небезразличны ничтожные количества аминокислот, содержащихся в воде. Ученые предполагают, что сочетание их с другими веществами придает речке или озеру тот особый родной запах, который помогает мигрирующим рыбам находить дорогу домой.

У различных видов живых организмов — от бактерии и растения до человека — запахи играют важную роль в жизни. Вспомним, какую радость доставляют нам дурманящие ароматы цветов и духов, таинственные запахи моря и леса. А как аппетитно пахнет свежий хлеб или ароматный чай, придающий нам силы и поднимающий настроение.

В сложное положение попали специалисты, расшифровавшие отдельные химические компоненты аромата свежего хлеба. Раньше предполагали, что запахи свежеиспеченного хлеба определяют два вещества: мальтол и изомальтол. Однако при смешивании этих веществ искомый аромат не проявлялся. В чем же дело? Оказалось, что хлебный запах создают и другие химические соединения. Химики обнаружили их более 200. Поиски продолжаются, а аппетитный аромат пока еще не воспроизведен.

Имитация запахов пищевых продуктов — одно из важнейших направлений в науке, которое поможет изготовить в лаборатории вкусную и ароматную пищу.

По запаху разыскивают корм и многие представители животного мира. Хищники в поисках пищи обнюхивают тысячи квадратных метров жизненного пространства, олень при помощи обоняния находит мох под снегом, а пчелы по пахучим ориентирам находят «вкусные» цветковые растения.

Уже на первый взгляд становится очевидным, что крыса отличит своего сородича от мыши, а последняя не перепутает своего родственника с кошкой. В данном случае мы имеем дело с межвидовыми

взаимоотношениями. А какова роль запахов у близкородственных видов животных?

Феромонная память мыши, как показали исследования советских ученых, содержит информацию о десятках знакомых сородичей из других кланов. Однако есть и фамильный феромон, при помощи которого родственники узнают друг друга. Интересно отметить, что незнакомые самцы всегда конкурируют между собой, но если они побывали в атмосфере запаха ухаживающего за ними человека, то начинают вести себя не так агрессивно.

На Украине известны два родственных вида мышей: синантропные домовые и курганчиковые, которые получили свое название потому, что запасы на зиму они откладывают в земляные холмики — курганчики. Исследования ученых показали, что заметная реакция у зверьков наблюдается лишь на запах представителей своего вида. Домовые и курганчиковые мыши прекрасно отличают своих соплеменников по обонятельным сигналам.

Кроме мышей, хорошо отличают своих родственников разные виды лемуров и американские белоногие хомячки. Удивительно и то, что курганчиковые мыши могут различать по запаху самцов и самок домовых мышей, и наоборот. Но это еще не предел. В настоящее время в лабораториях мира ученые разводят более 200 различных генетических линий в пределах одного вида. Оказалось, что по запаху мыши способны различать зверьков не только своей линии, но и изогенной, отличающейся лишь одной парой генов.

Не только мыши, но и насекомые, например самцы мухи дрозофилы, способны отличить самок своей линии от самок другой благодаря различиям в соотношении компонентов полового феромона.

В мышином царстве пахучие молекулы влияют на способность к размножению и поддерживанию внутривидового постоянства. Каждая группа имеет свой запах, и самка никогда не будет спариваться с чужаком, более того, если в клетку, где находится самец из другой группы, посадить беременную самку, то у нее прервется беременность (для этого достаточно запаха чужака).

Не только мыши используют феромоны для метки особей одной группы, но и крысы, морские львы. Новичок с незнакомым запахом, попавший в такой «коллек-

тив», не будет принят сородичами, пока не приобретет «свой» запах. Часто несоответствие запахового портрета приводит чужака к гибели. Таковы взаимоотношения у рыб, а также у кроликов, крыс и других млекопитающих.

Сотрудники Института эволюционной морфологии и экологии животных имени А. Н. Северцова АН СССР поставили немало интересных опытов по выяснению природы и функций феромонов млекопитающих. В частности, ученые занимались выяснением природы химических сигналов принадлежности особи к своему виду при отсутствии зрительных и акустических способов общения. Было установлено, что феромон, по которому самец домовой мыши разпознает самок своего вида, состоит из трех групп веществ: оснований, кислот и нейтральных соединений. Удаление одного из них нарушает распознавание, предъявление «запахового паспорта» каждого из веществ в отдельности не вызывает соответствующего поведенческого ответа.

Высказывалась мысль, что феромоны млекопитающих служат для них по аналогии со зрительными образами своеобразными запаховыми или обонятельными понятиями.

В одной библейской легенде рассказывается, как мудрый царь Соломон говорил со зверями и птицами, ползающими тварями и рыбами. Помогало ему беседовать с животными волшебное кольцо. В настоящее время, чтобы изучить язык животных, ученые Института эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР, Московского государственного университета, Института биоорганической химии АН СССР и Всесоюзного института защиты растений объединили свои усилия в единой программе «Феромоны». Исследователи, занятые выяснением законов химического языка, надеются сообща научиться управлять поведением животных.

Все больше данных получают ученые о роли обоняния у морских и пресноводных животных. Черви-полихеты, меняющие свой пол несколько раз на протяжении жизни, выделяют специальные вещества, которые определяют, быть особи самцом или самкой. Пахучие молекулы подавляют бесполое размножение у плоских червей-тубеллярий и обеспечивают яйцекладку, когда собирается не меньше 200 особей.

Интересно разможаются осьминоги-аргонавты. Для продолжения рода самец жертвует свое щупальце, которое переносит сперматофоры, оплодотворяющие самку. Но самое любопытное то, что эта оторвавшаяся конечность находит самку по следам молекул, растворенных в воде.

Кроме половых феромонов, особую роль играют вещества, которые помогают животным ориентироваться в окружающем мире. Чтобы закрепить за собой территорию, самцы и самки метят свои «владения» специальными веществами. Мыши-песчанки используют секрет кожной железы, расположенной на середине брюшка. Эту процедуру выполняет самец. В пахучий секрет входит целый набор химических веществ: эфиры и кислоты, спирты и карбонильные соединения.

Еще более строго охраняют свое жилище представители семейства куньих. Выбрасывая зловонный секрет, состоящий из меркаптанов и дисульфидов на большое расстояние, эти животные создают химический барьер для непрошеных гостей.

Сильным запахом секрета пахучих желез, кроме скунса, обладают полосатая гиена, домовая многозубка и чернохвостый олень. Хотя число известных химических сигналов, обнаруженных у млекопитающих, велико, большинство животных в общественной жизни использует сходный набор летучих соединений. Так, самцы вилорогой антилопы выделяют ряд спиртов с длинной цепью молекул и короткоцепочечные органические кислоты, используя для мечения своей территории. Подобные вещества с той же целью используют самцы песчанки. Эти соединения обнаружены и в экзокринном секрете мускусной черепахи, которая использует их для отпугивания хищников.

На Галапагосских островах обитают морские игуаны, питающиеся водорослями, растущими на мелководье. Во время отлива они возвращаются на берег, используя для ориентации на местности пахучие метки. Ползая по скалам, эти животные слизывают химические вещества и при помощи обонятельного углубления на нёбе

определяют свое местонахождение. Наблюдения ученых показали, что игуаны способны обнаружить по запаху свой дом в радиусе 300...400 м.

Молодые песцы и белки, расселяясь по тундре, пользуются уже готовыми метками, оставленными предыдущими поколениями. Для метки территории животные применяют секрет специальных желез. Так, хорьки и барсуки, горностаи и сурки, суслики и лисицы, волки и собаки оставляют метки анальными железами. Лемуры натирают свои подошвы мочой, а самец антилопы гарна оставляет на ветках деревьев сильнопахнущий черный восковидный секрет. Смолообразную, характерно пахнущую метку оставляют в местах разработки леса, на тропах у входа в воду бобры. В средние века этой «бобровой струе» приписывали даже лечебные свойства.

Наряду с индивидуальными метками у животных существуют также «групповые», или «семейные», запахи. Такие метки известны у волков и оленей, соболей и горностаев, которые используют такую сигнализацию для коллективной защиты своих владений от непрошеных гостей.

В своей жизни человек практически не использует запахи в системе общения. Однако специальные опыты показали, что, несмотря на это, потенциальные возможности человека в химической коммуникации довольно велики. Так, например, малыши уже с двухмесячного возраста могут узнавать по запаху своих матерей и отличать их от других кормящих женщин. Дело в том, что и с возрастом человек не теряет этих уникальных способностей. Трех- и пятилетние дети также хорошо отличали своих матерей по запаху, как и новорожденные. В свою очередь, матери столь же хорошо могут отличить по запаху своих младенцев от других детей.

Основные источники запаха у человека — пот, секрет апокриновых желез, расположенных под мышками, а также пахучие выделения жировых желез. Интересно, что чистый апокриновый пот практически не пахнет, а запах появляется лишь после разложения его бактериальной микрофлорой кожи. Среди веществ, входящих в кожные выделения человека и определяющих его индивидуальный запах, можно отметить такие ненасыщенные жирные кислоты, как масляную, пропионовую и валериановую, капроновую и каприловую. Что касается запаха следа, по которому собака превосходно отыщет хозяина, то в нем, кроме масляной кислоты, присутствуют также целый ряд алифатических кислот, фенолы, индолы, скатолы и другие соединения. Причем сочетание некоторых из них приводит к усилению «запахового портрета».

Как видно, запахи играют немаловажную роль в жизни человека. Несмотря на то, что обоняние в процессе эволюции уступило пальму первенства зрению и слуховому аппарату, сохранились и эмоциональные восприятия многих запахов. Некоторые из них приводят нас в уныние, вызывают тревогу или какие-то неприятные, хотя и расплывчатые воспоминания, связанные, казалось бы, с давным-давно изгладившимися из памяти отрицательными образами и обстоятельствами. Зато парфюмерные композиции часто вызывают зрительные образы: цветущий луг или золотые колосья хлебного поля, прохладную тишину лесной опушки или бескрайнюю синь моря. Нераскрытые еще возможности лежат в использовании этих невидимых сигналов в управлении психическим состоянием человека.

Из пахучих веществ наиболее изучены феромоны насекомых, пользующихся этим древнейшим способом общения. Это и неудивительно, так как шестиногие обитатели планеты — одни из старейших ее жителей. Кроме того, многочисленность и многообразие различных видов способствовало развитию и усложнению взаимоотношений в мире насекомых, требуя от них довольно большого «словарного» запаса для объяснения с себе подобными.

«МОЛЕКУЛЫ ЛЮБВИ»

Инстинкт продолжения рода... Одно из самых загадочных явлений в окружающей нас жизни. Это он заставляет насекомых находить друг друга на огромных расстояниях. Удивительные способности этих животных вызывают восхищение даже у ученых энтомологов. Встрече самца и самки на поле или в лесу помогают яркая окраска партнеров, звуковые и зрительные ориенти-

1477258

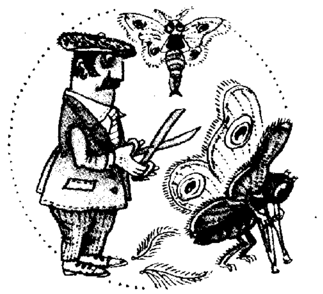
ры, брачные ритуалы, но главную роль играют пахучие молекулы.

Если обратиться к истории изучения феромонов, то одно из первых сообщений об аттрактантах можно найти у Плиния Старшего (24—79 гг., древнеримский писатель и ученый), советовавшего для защиты листвы деревьев от муравьев подвешивать на ветви рыбу, которая более привлекательна для этих насекомых. О значении пахучих веществ, выделяемых насекомыми, упоминается также в книге Ч. Батлера «Женская монархия», изданной в Оксфорде в 1609 году. Ученый писал о том, как пчелы используют запахи в качестве аттрактантов-репеллентов (веществ, отпугивающих или привлекающих насекомых).

Первым проник в тайны «молекул любви» насекомых замечательный французский энтомолог Жан-Анри Фабр (1823—1915). Интересно, что хотя ученый, наблюдая за бабочками, все время работал под открытым небом — в полях и лесах, открытие языка насекомых он совершил дома.

Однажды в своем рабочем кабинете натуралист стал свидетелем метаморфоза: из неподвижной куколки вышла на свет самочка сатурнии — ночного павлиньего глаза. Заметив «новорожденную», Фабр осторожно поймал ее и поместил в сосуд, который накрыл колпаком из металлической сетки. Не думал энтомолог, что стоит на пороге открытия. В один из вечеров, когда сгустились сумерки, через открытое окно в комнату пожаловали десятки самцов сатурнии. Ночные гости устроили диковинный хоровод вокруг садка с самочкой. Следующей ночью они прилетели вновь.

Ученый, продолжая свои наблюдения, стал размышлять над увиденным, пытаясь понять причины ночных посещений. Фабр вспомнил, что, обследуя окрестности, он не заметил гнезд этих насекомых. Значит, они прилетели издалека. Но что заставило самцов преодолеть несколько километров, чтобы попасть в кабинет? Зрение, конечно, было здесь ни при чем. Тогда как же они ориентируются в темноте? Звуки тоже пришлось исключить, так как самка безмолвствовала. Что же привело ночных пришельцев в дом? Натуралист предположил, что самка сатурнии испускает запах, который привлекает самцов, выполняя роль сигнала. Чтобы убедиться в правильности своей догадки, Фабр прикрыл сосуд стеклян-

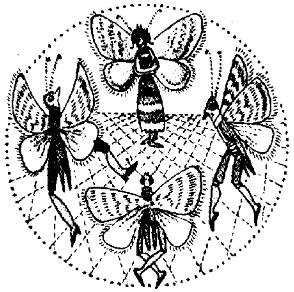


ным колпаком, но ночные визиты не прекратились. Самцы ночного павлиньего глаза продолжали прилетать в кабинет, но на самку, которая была хорошо заметна, уже не обращали никакого внимания. Их больше привлекали различные предметы, с которыми соприкасалась пленница. Ученый был вознагражден. Его предположение подтвердилось, самцы в поисках самочки пользуются обонянием. Стало понятно, что насекомых привлекают пахучие молекулы, но как узнают об их присутствии в воздухе самцы сатурнии? Продолжая свои интересные опыты, любознательный исследователь обнаружил, что датчиками запахов служат усики шестиногих, напоминающие по форме листья папоротника. Эти «носы-антенны», как локаторы, поворачиваются в разные стороны и дают насекомым жизненно важную информацию.

На усиках насекомых находится множество всевозможных рецепторов, воспринимающих температуру и влажность воздуха, скорость ветра и различные химические вещества. Эти биологические датчики покрыты небольшими пористыми волосками. Проводниками сигналов служат нервные волокна, по которым с огромной скоростью переносится информация об изменениях в окружающем мире. Если же по какой-то причине насекомое лишится усиков, то оно станет настоящим инвалидом, неспособным ориентироваться в пространстве.

В настоящее время уже хорошо известны уникальные способности насекомых «разговаривать» при помощи химических соединений. Более 350 видов шестиногих стали объектом внимательного и детального изучения. Ученые сумели ответить на многие вопросы, связанные с механизмом восприятия и синтеза пахучих молекул насекомыми.

Где же находятся у самок железы, которые вырабатывают пахучие молекулы? Оказалось, что они расположены на заднем конце брюшка и имеют различную форму и свои особенности. Время от времени эти железы выделяют секрет, с помощью которого



бабочки приглашают партнеров для брачного ритуала. Такая периодичность химических сигналов, по-видимому, связана с учетом привыкания насекомых к запахам, а также с притуплением чувствительности усиков. На выделение железами «молекул любви» влияет и физиологическое состояние самок. Бабочка, только что вышедшая из куколки, неспособна привлекать самцов. Например, самки яблонной плодожорки — уничтожающей яблоки, груши, айву, абрикосы, персики, сливы, — становятся активными только в возрасте 3...4 суток. Выделение феромонов зависит от климатических условий, времени суток, а также плотности популяции насекомых. Так, у большинства ночных бабочек брачные отношения начинаются в сумерках.

Однако для совершения таинства брака недостаточно только «химического» приглашения самочки. После встречи партнера и самец, и самка выделяют пахучие вещества, вызывающие призывную позу, трепетание крыльев, круговые движения. Как только происходит оплодотворение, синтез «молекул любви» в организме насекомого прекращается, и бабочка готовится к заботам о потомстве.

Пускают в ход свои чары и самцы, когда находят избранниц. Успокаивая самочку, самец должен обеспечить нормальное спаривание. Совсем неспроста трепещут крыльями прилетевшие издалека поклонники какаовой и мельничной огневок, которые разбойничают в складах и магазинах, на элеваторах и в трюмах пароходов. Подобные движения крылышками, а также раскачивание, похожее на танец, помогают распространению летучих молекул — афродизиаков. Насекомые выделяют эти пахучие вещества во время брачных игр из органов, расположенных на разных участках брюшка. Чаще всего афродизиаки насекомых напоминают запах цветов или плодов. Самцы шелкопряда испускают молекулы с приятным запахом земляники, а химические сигналы брюквенницы пахнут цветами лимона. У одних видов насекомых секреты пахучих желез привлекают самок с больших

расстояний, а у других — возбуждают их и вызывают брачные ритуалы только при встрече партнеров. Так, у бабочек-данаид самец выделяет особое пахучее вещество, которое действует на самочку лишь в момент спаривания.

С помощью обоняния насекомые также узнают о готовности самочки к спариванию. Паук-крестовик, например, по запаху может отличить половозрелую паучиху от неполовозрелой. Некоторые насекомые выделяют химические вещества, которые действуют на летательный аппарат самочки и заставляют ее немедленно опуститься и ждать приближения самца. Мужские особи многих видов шестиногих с помощью специальных пахучих молекул отпугивают соперников и подавляют у них способность чувствовать запах самки. Однако существуют насекомые, у которых полностью отсутствуют половые феромоны. Поэтому самцам некоторых видов пчел, не ведущих общественный образ жизни, приходится постоянно находиться в воздухе и перехватывать летящих мимо самочек.

У каждого вида насекомых имеется своя азбука брачных отношений и ритуалов, которая обеспечивает продолжение их рода.

Хорошо позаботилась природа, чтобы различные виды не скрещивались между собой. Только самцы некоторых огневок при поисках зовущей подруги допускают ошибку и то очень редко. Это, вероятно, происходит из-за высокой концентрации в воздухе смеси феромонов различных видов, которая мешает самцу сделать правильный выбор.

Среди насекомых существуют свои рекордсмены по восприятию пахучих молекул. Несмотря на влияние всевозможных посторонних запахов, самец шелкопряда-монашенки находит самочку на расстоянии 200...300 м, непарный шелкопряд «по зову любви» пролетает до 4 км, а большой ночной павлиний глаз и того больше — свыше 9 км. Немаловажное значение при поисках самки имеют направление ветра, время суток, температура воздуха и активность солнца. Чем больше «молекул любви» испускает самка, тем сильнее реакция «поклонников». Только одна самочка соснового пилильщика может за восемь дней назначить одновременно более 11 тысяч свиданий.

Конечно, скорость ответа во многом зависит от

обонятельной способности самцов. Самый чувствительный «нос-антенна» в мире шестиногих у рыжих тараканов. Где бы ни был прусак, на кухне под плинтусом, в ящиках стола или шкафчика, но только появится в воздухе половой феромон (около 30 молекул на 1 см^3), и его уже ничего не остановит.

Интересные результаты получены при исследовании физиологической связи между гормонами насекомых и активностью феромонов, выделяемых самками. По мнению ученых, гормоны — химические предшественники феромонов в биологической эволюции класса шестиногих. Для изучения роли гормональных веществ исследователи провели микрохирургическую операцию, удалив железы, вырабатывающие ювенильный гормон у самки большого мучного хрущака. Оказалось, что у прооперированного насекомого биосинтез половых феромонов резко снизился. Если сделать подопытному насекомому укол специальным стеклянным капилляром и под хитиновый покров впрыснуть гормон, синтез феромона ускоряется почти в 10 раз.

Гормональные вещества — важные регуляторы роста и развития шестиногих. Чтобы понять ту физиологическую роль, которую выполняют эти вещества, необходимо вспомнить об удивительном явлении в жизни ползающих и летающих представителей мира насекомых.

Метаморфоз — это чудо-перевоплощение крошечного яйца в очень подвижную и прожорливую личинку, а затем опять в покоящуюся и ждущую своего часа куколку, из которой выходит, наконец, половозрелое насекомое. Много умов билось над разгадкой механизма этих превращений. Еще древнегреческий философ Аристотель считал, что растущая личинка представляет собой мягкое яйцо. Много лет прошло, пока ученые смогли приблизиться вплотную к тайнам метаморфоза. И то, что уже известно сегодня, — поразительно и наводит на дальнейшие размышления об эволюции самого многочисленного класса животных, населяющего землю.

В последние годы ученые, проникающие в тайны физиологии шестиногих, выяснили, что в индивидуальном развитии и метаморфозе принимают участие три гормона. Один из них, синтезируемый клетками мозга, стимулирует активность эндокринных желез (активационный гормон), другой — рост тканей тела в процессе метаморфоза (экдизон). Третий гормон извлечен из брюшка самца цекропии в 1956 г. и назван ювенильным. Это знаменитое «золотое масло» (экстракт золотистого цвета) выделяют специальные железы, названные прилежащими телами. Гормоны действуют на определенной стадии развития личинки, и если удалить железы, синтезирующие эти вещества, то прервется «детство» насекомых: они будут вынуждены стать взрослыми. Если же сделать операцию под микроскопом и пересадить прилежащие тела личинке, готовящейся, стать куколкой, то можно омолодить ее. Однако за такую молодость насекомые расплачиваются, достигая гигантских размеров и обретая уродливые формы. Важную «диспетчерскую» роль выполняет ювенильный гормон в семьях и колониях общественных насекомых. Выйдет ли из куколки пчел матка или трутень, царица или солдат в кастах термитов — зависит от этого гормона-регулятора.

Вещества, обладающие свойствами ювенильного гормона, обнаружены в тканях различных живых организмов: от растений до человека. Расшифровав строение молекул этих веществ и выяснив их роль в росте и развитии насекомых, ученые предложили использовать подобные соединения в качестве нового оружия против многочисленных вредителей полей, садов, лесов и виноградников.

В настоящее время известно более 500 ювеноидов, которые по своей активности не уступают самым токсичным ядам. И если любое искусственно синтезированное химическое оружие — инородное тело для организма насекомых, то ювенильный гормон — «родной» регулятор химии шестиногих. Достоинство новых инсектицидов — безвредность для окружающей среды и высших животных. Ученые всего мира начали работать над созданием еще одного чудо-оружия. Уже сейчас получены хорошие результаты в борьбе с дубовой листоверткой и чехлоноской, повреждающими лиственные леса. Однако и здесь насекомые препод-

несли ученым сюрприз, приобретая иммунитет к своим «ядам».

Кроме веществ внутренней секреции насекомых на синтез «молекул любви» влияет пища этих животных. При изучении поведения бабочек-данаид была обнаружена двойная роль растительных алкалоидов в жизнедеятельности этих насекомых. Эти вещества, необходимые бабочкам для биосинтеза половых феромонов, выполняют также и защитную роль.

Жуки-короеды тоже используют вещества, извлекаемые из растений двумя способами. Так, например, мирцен — мужской феромон жуков выделяется ими из пищи без изменений, а вербенол и вербенон они синтезируют, изменяя исходные структуры растительных соединений. Смесь этих компонентов можно было бы использовать как идеальную приманку для отвлечения самок короеда от сосны. Однако необходимо отметить, что все превращения растительных веществ в феромоны насекомых не обходятся без участия микроорганизмов, обитающих в кишечнике шестиногих. Так, у короедов обнаружены бактерии, которые превращают пинен в вербенол, а присутствующие там грибы-симбионты окисляют вербенол до вербенона. Такая экологическая связь между растениями и насекомыми, по-видимому, и определяет привлекательность тех или иных деревьев для колонизации их жуками. Бабочки-данаиды и жуки-короеды — немногие из шестиногих, которые в процессе эволюции приобрели способность использовать химию растений для взаимоотношений между полами.

Интересно, что медоносная пчела получает свой следовой феромон — монотерпен гераниол также непосредственно из растений. Этот аттрактант насекомые извлекают из ароматических веществ цветков, а затем применяют для указания источников пищи. Пчелы рода тригона используют для подобной цели соединение растительного происхождения — бензальдегид. Это вещество с миндальным запахом (образуется из цианогенного гликозида прунасина) — идеальный феромон для мечения пищи. Дело в том, что он, по мере того как пища используется насекомыми, теряет свою биологическую активность и в результате окисления превращается в неактивную бензойную кислоту.

Исследования показали, что феромоны растительного происхождения можно обнаружить не только в теле насекомых, но также в самом растении. Так, у голосеменных растений обнаружен борнилацетат, который вызывает возбуждение у самцов американского таракана уже в концентрации 0,07 мг/см^3. Причем D-изомеры этого соединения более чем в 100 раз активнее L-изомеров. При обследовании 100 видов покрытосеменных растений обнаружено, что 8 из них содержат феромоны таракана.

У насекомых далеко не всегда ведущую роль при сближении особей противоположного пола играют самочки. Ученые обнаружили, что примерно у 107 видов шестиногих самцы первыми начинают «объясняться в любви». Более чем у 280 видов первое «слово» за самочками, но существуют и такие насекомые, у которых выражено равноправие и обе особи обладают этой удивительной способностью к химическому общению.

Для «объяснения в любви» насекомые чаще используют не одно химическое соединение, а сложную смесь летучих веществ, которые выполняют различные функции в привлекающем запахе. Наряду с основным компонентом полового феромона в секретах бабочек и жуков присутствуют молекулы-синергисты (вместе действующие), которые усиливают зов самочки, и соединения-антагонисты (оказывающие противоположное действие), которые лишают «молекулу любви» ее привлекательности. Такой многокомпонентный состав тонко регулирует брачные ритуалы насекомых.

Опубликована гипотеза, авторы которой считают, что компоненты полового феромона образуют что-то вроде многослойного пахучего облака. Самцы насекомых, используя свои «носы-антенны», анализируют эту сложную композицию запахов и находят единственно правильный путь к самочке.

Американские энтомологи Вильсон и Боссерт рассчитали форму и размеры пространства действия полового феромона непарного шелкопряда в природных условиях. Оказалось, что пахучее облако представляет собой эллипсоид — этакое веретено длиною несколько километров и шириною около 200 м.

В пользу предположения о сложном составе феромонов свидетельствует траектория полета самцов, ве-

дущих поиск подруги, а также более низкая активность искусственных феромонов по сравнению с запахом самочки. И, несмотря на это, всего 10^{-7} мкг синтетического вещества достаточно, чтобы привлечь 100 самцов непарного шелкопряда к ловушке, а для тутового шелкопряда и того меньше — всего 1000 «молекул любви».

Если бы было возможно собрать все количество полового феромона, синтезируемое одной самкой непарного шелкопряда в течение двух с половиной лет, то эта небольшая доза привлекла бы к ней около миллиона возбужденных самцов.

Кроме «молекул любви», в жизни шестиногих обитателей планеты большую роль играют и другие не менее загадочные вещества, участвующие в общении насекомых.

МОЗАИКА ЗАПАХОВ

Из всех видов насекомых, живущих на земле, особым вниманием человека всегда пользовались общественные насекомые — пчелы и муравьи.

Еще в Древнем Египте пчелу почитали священным животным за ее бесстрашие, презрение к опасности и смерти, любовь к чистоте и порядку. Этому полезному насекомому поклонялись когда-то жители Индии и Греции.

«Разум» муравьев издавна поражал воображение человека, который в их поведении видел черты жизни общества. «Пойди к муравью, ленивец. Посмотри на действия его и будь мудрым. Нет у него ни начальника, ни приставника, ни повелителя; он заготовляет летом свой хлеб, собирает во время жатвы пищу свою». Эти слова царя Соломона подтверждены опытами энтомологов. В одном из прибрежных районов Средиземного моря были обнаружены уникальные сообщества муравьев, которые «освоили» сельскохозяйственные профессии. Они занимались не только сбором и хранением пищи, но и выращиванием урожая.

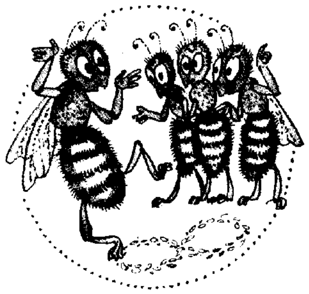
На протяжении всей истории человеческого общества пчелы и муравьи привлекали к себе внимание философов и писателей, ученых и просто любителей природы. Проникая в тайны мира общественных насекомых, исследователи всегда искали ответ на вопрос,

как уживаются под одной крышей многочисленные семьи и общины этих шестиногих, ведь только в одном пчелином улье — около 60 тыс. жителей. Трудно договориться и мирно жить в такой многонаселенной квартире, если жильцы не умеют распределять свои обязанности и общаться между собой. Сейчас хорошо известно, что пчелиная семья представляет собой организованное сообщество, состоящее из матки, нескольких сотен трутней (как доказали ученые, они вовсе не бездельники) и пчел-работниц.

Что касается колонии муравьев, то кроме самки-царицы и самцов, которые погибают после спаривания, большую часть муравейника составляют рабочие особи. Они строят и охраняют гнездо, контролируют прирост семьи, добывают и приносят съестные припасы, охраняют территорию, кормят самочек и молодняк, а также соблюдают гигиену жилища. Муравейник — это высокоорганизованное сообщество, в котором каждый член имеет свою профессию и может менять ее в зависимости от нужд колонии. Если познакомиться поближе с хозяйством подземных городков, то на их улочках можно встретить муравьев «строителей» и «скотоводов», «легионеров» и «грибоводов», «охотников за рабами» и «воришек», «хранителей меда» и «нахлебников». И так же, как пчелы, муравьи имеют свой язык, который помогает им направлять свои действия и вести общественный образ жизни. Какой же язык выбрали общественные насекомые для своего общения?

Ответ на этот вопрос начнем со слов известного французского ученого, профессора энтомологии Реми Шовена: «Надменные лингвисты сейчас же принялись поучать нас, толковать о том, чем является язык и чем он не является, и по каким причинам пчелы навсегда лишены права говорить».

Что же вывело из себя дотошных лингвистов? Виною тому было сообщение об опытах ученого-энтомолога, знатока жизни и поведения пчел Карла Фриша. Проводя долгие часы у стеклянных ульев, ис-



следователь обратил внимание на странные движения, похожие на своеобразный танец, которые выполняют рабочие пчелы. Продолжая свои наблюдения, ученый сделал интересное открытие. Оказалось, что этот характерный танец, круговой или виляющий, не что иное как язык этих общественных насекомых.

Ранним утром отправляются на поиски «вкусных» цветов пчелы-разведчицы. Обследовав душистые полевые и лесные растения и попробовав их, они спешат сообщить соплеменницам о своих находках. Прилетев в улей, разведчица на сотах исполняет свой танец, по которому ее подруги узнают путь до источника взятка. Замечено, что если нектар находится не далее 100 м от улья, то пчела-разведчица перемещается по кругу (круговой танец). Кроме информации о расстоянии, она приносит с собой аромат цветущих растений, который помогает соплеменницам без труда отыскать дорогу.

Совсем другое дело, если душистый луг или поле находятся далеко от пчелиного дома. Здесь уже разведчицам приходится потрудиться, их танцевальная программа усложняется. Круговые движения отсутствуют, пчелы выписывают танцевальные фигуры в форме восьмерки. И здесь кроется разгадка еще одной тайны пчел. Оказывается, если соединить петли восьмерки прямой линией, то получится стрела-вектор, показывающая, насколько нужно в поисках «вкусного» растения отклониться вправо или влево от солнца. Затейливый танец оказался своеобразным компасом, однако и это не все.

У рабочих пчел на брюшке есть специальная железа, названная в честь известного советского зоолога Н. В. Насонова (1855—1939 гг.), который описал ее еще в 1883 г. Она расположена у рабочих пчел и матки между 5—6 сегментами

брюшка. Разведчица, обнаружив ароматный цветок и попробовав его на вкус, выворачивает железу Насонова и выделяет секрет, запах которого остается на месте кормления. Пчелы оставляют подобные метки на берегу ручья или реки, когда заняты доставкой воды в улей. Пахучие молекулы помогают соплеменницам найти вкусные растения, несмотря на отсутствие аромата у цветков. Запахом-ориентиром также пользуются дикие пчелы, у которых отсутствует характерный язык танца. Пчела-разведчица выполняет роль «проводника», но указывает направление не танцем, а следом, оставленным секретом железы Насонова. При помощи нераля, цитраля и гераниола — веществ, определяющих этот запах, пчела метит предметы, которые встречаются ей на пути: кустарники, деревья, камни и другие заметные ориентиры. У этих молекул, сочетание которых напоминает запах цветов медоносного растения мелиссы или плодов айвы, есть еще одна важная функция в пчелиной семье.

Пчелиный улей имеет свой особый запах, который рабочие пчелы, возвращаясь домой с нектаром или пыльцой, всегда узнают. И здесь железа Насонова верно служит сборщицам меда.

Исследования ученых показали, что максимальной активностью в букете запахов, выделяемых этой железой, обладают цис- и трансизомеры цитраля. Эти вещества обнаружены также в нектаре и пыльце цветочных растений, посещаемых пчелами. Следовательно, так же как в случае с бабочками-данаидами и короедом, компоненты пищи определяют структуру феромонов этих общественных насекомых. И действительно, наблюдения над различными популяциями пчел показали, что существует специализация, которая связана с предпочтением одних растений другим. Такая «привязанность» объясняется результатами длительной сопряженной эволюции пчел и растений. Уже на уровне пчелиной семьи могут проявляться различные «вкусы», определяемые физиологическими процессами, протекающими в организме насекомых.

Пользуется железой Насонова и матка, которая привлекает сопровождающих ее пчел во время роения. Она использует также и пахучие молекулы из мандибулярных желез, служащие для привлечения трутней в брачный период. В конечном итоге судьба

роя и каждой семьи в отдельности зависит от того, насколько им удается сохранить матку. Поэтому химический след служит рою путеводной звездой.

Проводя специальные опыты, ученые доказали, что пчелы прекрасно разбираются в запахах. При сравнении обонятельных способностей пчел и человека оказалось, что запах некоторых веществ, например масляной кислоты, человек ощущает в концентрации на 2 порядка ниже, чем пчелы, а когда дело касается эвгенола, картина наблюдается обратная.

Интересный опыт поставили ученые, чтобы убедиться в существовании особого «родного» запаха у пчелиного дома. Улей сдвинули на несколько десятков сантиметров, предварительно удалив его запах. Вернувшиеся с поисков нектара пчелы-сборщицы не смогли попасть домой. Они долго кружили над местом, где стоял улей и сохранялся его запах, прежде чем одной из них удалось обнаружить «пропажу» и сообщить об этом подругам.

В другом опыте группу пчел, которая прилетала к кормушке с неароматизированным 50%-ным раствором сахара, пометили краской. Затем эту кормушку переместили на 30 см от того места, где она находилась. Рядом на таком же расстоянии, но с другой стороны поместили новую кормушку с таким же раствором сахара. Однако пчелы, по-прежнему, посещали только старую кормушку, которая была помечена пахучими веществами пчел-«фуражиров». Используя эти феромоны, человек может привлекать крылатых опылителей на поля и сады в зависимости от того, какое качество меда ему необходимо.

Подобные пахучие ориентиры есть также у муравьев и термитов. Железы, размещенные у них на брюшке, вырабатывают молекулы-метки. Муравьи, двигаясь по следам-феромонам своего вида, ориентируются при поисках пищи или «родного» муравейника. Летучие молекулы имеют небольшой срок годности — всего около 2 минут. Если в течение этого времени информацией не воспользоваться, то можно потерять нужное направление и заблудиться.

Химическая структура следовых феромонов может быть различной. Муравьи-листорезы, например, вырабатывают очень активное вещество — метиловый эфир 4-метилпиррол-2-карбоксилата. Это вещество муравьи

воспринимают в концентрации $3{,}5 \times 10^8$ молекул на кубический сантиметр. Один из путей образования этого соединения у муравьев — воздействие бактерий желудка на аминокислоту триптофан, содержащуюся в пище этих насекомых. Интересно, что для образования пахучего следа вокруг земного шара этим насекомым достаточно всего 0,33 мг феромона.

У другой группы шестиногих — тропических фараоновых муравьев обнаружены следовые феромоны алкалоидной природы, которые могут быть синтезированы насекомыми из компонентов растительной пищи. Что касается термитов, то они используют в качестве следовых пахучих веществ спирт-3-цис-6-транс-8-додекатриен-1-ол, который также обнаружен в инфицированной грибами древесине — пище термитов.

Оказывается, что при помощи запахов муравьи не только указывают дорогу к пище, но и, регулируя количество выделяемого секрета, сообщают сородичам о количестве найденных запасов. Разведчики, возвращаясь в муравейник, оставляют след только в том случае, если их вылазка была успешной и есть чем полакомиться остальным «соплеменникам». А как же поступают муравьи, обитающие в раскаленных песках пустынь? И здесь «разумные» шестиногие приспособились и нашли выход из положения. Поднимая брюшко кверху, они оставляют в воздухе пахучий след, который хорошо ощущают жители того же муравейника и безошибочно ориентируются по этому воздушному указателю.

Чтобы ориентироваться в сложно организованной колонии, муравьям необходима довольно развитая система химического языка, которая сильно зависит от эволюционного уровня вида. Интересные наблюдения сделали энтомологи, изучив самый примитивный в мире вид муравьев — Номомермеций. Как оказалось, их кооперация очень ограниченна; муравьи этого вида охотятся в одиночку и не отмечают дорогу домой химическими веществами. Только рабочие особи этого вида указывают вход в муравейники при помощи феромонов.

Интересно сравнить поведение этого примитивного вида с высокоорганизованными муравьями-ткачами. Внешне их трудно различить, но если, например, потревожить ползущего по стволу номомермеция, то его

ответ будет пассивным: муравей или застынет на месте, или убежит. Но самое главное, что ни один из сородичей не придет ему на помощь! Совсем другая картина наблюдается в случае с муравьем-ткачом, владеющим сложным языком запахов. Он не только атакует незваного пришельца, но при помощи феромонов через 5...10 сек призовет на помощь своих соплеменников. Используют в своей жизнедеятельности муравьи-ткачи и феромоны охоты. Если на территорию колонии вторгается какое-либо крупное насекомое, с которым одному рабочему муравью не справиться, последний выделяет короткоживущий химический сигнал, и на помощь устремляются его соплеменники. При помощи своего оружия — муравьиной кислоты они быстро поражают жертву.

Специфическое оружие используют для захвата «рабов» красные муравьи-амазонки Полиергус. Участвуя в набегах на соседей, они необязательно убивают неприятеля, а при помощи специальных феромонов парализуют и дезориентируют жертву, а затем, не встречая сопротивления, захватывают потомство. В дальнейшем при помощи особых химических меток «рабовладельцы» метят запахом своих «рабов», и последние, принимая своих поработителей за родных, верой и правдой служат им.

Многие животные, которые любят полакомиться насекомыми, научились пользоваться химическими сигналами муравьев. Так, жуки-муравьеды, клещи, тысяченожки, змеи и другие пресмыкающиеся, следуя по пахучему следу огненных муравьев-путешественников, отыскивают их подземные городки.

Некоторые виды насекомых изощренно обводят муравьев «вокруг носа». Расшифровав химический язык маленьких тружеников, они имитируют химические сигналы обмена пищей, характерные для данной колонии, и хитростью отбирают «провиант» у обманутых шестиногих. Дело доходит до того, что насекомые используют запах муравейника для маскировки и живут прямо внутри колонии муравьев, причем хозяева кормят их и ухаживают за их личинками. Более того, муравьи настолько подчиняются запахам, что позволяют личинкам врагов спокойно уничтожать свое потомство.

Особую роль в жизни пчелиного царства играет

универсальный феромон — царское вещество. Его молекулы сигнализируют рабочим пчелам, что матка улья полна сил, поэтому нет необходимости строить крупные ячейки для выкармливания других маток. Определенные химические компоненты царского вещества подавляют развитие яичников у рабочих пчел. Кроме того, активные вещества, вырабатываемые пчелиной маткой, выступают в качестве полового феромона, привлекающего самцов.

Покинув улей, половозрелая матка совершает брачный полет в надежде привлечь к себе поклонников-трутней. Чтобы самцы откликнулись на ее зов, она старается не опускаться ниже 4...5 м от поверхности земли. Сведения о влиянии высоты на брачный ритуал пчел были получены учеными в опытах с воздушными шарами. Исследователи наблюдали за поведением насекомых, привязанных прозрачными нейлоновыми нитками к этим простейшим летательным аппаратам. Энтомологи выяснили также несколько любопытных деталей из жизни этих общественных насекомых. Оказалось, что у пчел в отличие от бабочек и жуков оплодотворенная матка была для трутней более привлекательна, чем девственная. И еще, «ухаживания» трутней прекращались, если матка оказывалась в радиусе 150 м от родного улья.

Царское вещество действует и как общественный феромон, побуждая пчел одного семейства держаться вместе. В единую роевую гроздь объединяют «соплеменниц» стабилизирующий рой феромон и секрет железы Насонова. Аналогичные «сборища» во время брачного полета маток устраивают трутни. Подобное явление наблюдается и у различных жесткокрылых насекомых: хлопкового долгоносика, капрового жука, тараканов, жуков-лубоедов. Агрегационные (объединяющие) феромоны вышеперечисленных шестиногих представлены относительно простыми химическими соединениями: фенолами, терпеноидами, спиртами и органическими кислотами.

Жуки-короеды и лубоеды, настойчиво пробуравли-

вая стволы деревьев, выделяют вместе с опилками (буровой мукой) терпеновые соединения, которые привлекают особей мужского и женского пола. Самцы и самки собираются в отдельные группки, а затем объединяются попарно для продолжения рода. Все события разворачиваются только в присутствии определенного растения-хозяина, которое может обеспечить многочисленное потомство насекомых пищей и кровом. Когда все приготовления закончены, жук сигнализирует о начале брачного ритуала своей «избраннице».

Другой пример из жизни шестиногих. Когда в лесу или на торфяных болотах возникают пожары, обитатели леса вынуждены покидать родные места и искать пристанище. Но на некоторых насекомых дым полыхающих пожарищ действует по-иному. Пахучие молекулы, входящие в состав дымного облака, обладают магнетической силой, привлекая несметное количество дымных жуков. Притягательный запах собирает «любителей дыма» с огромных расстояний — за десятки километров от места катастрофы. Немало неприятностей доставляют дымные жуки и болельщикам на футбольных матчах. Виною тому табачный дым, исходящий от сигарет страстных поклонников этой игры.

Как же объясняют ученые эти странные реакции насекомых? В случае с лесными пожарами исследователи предполагают, что насекомые спешат скорее занять освободившуюся территорию. Ведь от огня и жары погибают многие шестиногие обитатели зеленых массивов. Предполагается также, что вещества, образующиеся при горении, привлекают дымных жуков.

Капровый жук тоже умеет собирать своих «соплеменников», используя пахучую смесь этиловых эфиров пальмитиновой, линолевой, стеариновой кислот и метилового эфира олеиновой кислоты. Агрегационные феромоны, служащие сигналом для сбора собратьев, — это бóльшей частью метаболиты (продукты обмена) веществ, входящих в состав рациона насекомых. Важную роль в их синтезе играют микроорганизмы, населяющие кишечник шестиногих и использующие химические компоненты пищи для своих нужд.

Однако вернемся в царство пчел и других общественных насекомых. Оказывается, хозяйка улья или термитника владеет еще одним феромоном, состоящим из царского вещества и нескольких кислот, который она использует для «ценных указаний» рабочим пчелам. Если разделить эту пахучую смесь на компоненты, то ни один из них в отдельности не будет активен. Только объединив их, можно повлиять на поведение шестиногих.

Привлечение членов семей и колоний к маткам играет важную роль в жизни общественных насекомых.

Если вдруг рабочие пчелы обнаружат отсутствие матки, то они немедленно поднимают тревогу, и клубок, состоящий из тысяч обеспокоенных сородичей, устремляется на ее поиски. В случае неудачи встревоженный улей готовится к выращиванию новой хозяйки и строит маточные ячейки. Опыты показали, что царское вещество подавляет развитие яичников и строительный рефлекс у обитателей улья. Стойкость и биологическая активность этого универсального феромона вызывают удивление. Высохшие пчелиные матки из энтомологических коллекций в течение 3 лет после препарирования были привлекательны для пчел-работниц.

Не менее сложные взаимоотношения между рабочими особями и «царской семьей» в подземных городах муравьев и термитов. По высказыванию уже упоминавшегося Реми Шовена, термиты существуют с очень давних времен во всей сложности своих инстинктов. Эпоха, в которую эти насекомые появились, точно не определена. Их возраст насчитывает по меньшей мере 300 млн. лет. Они несравненно древнее пчел и муравьев, а структура их сообществ не менее сложна. Рабочие особи термитов неустанно заботятся о «царской чете», доставляя ей необходимую пищу и слизывая при этом с покровов самочки капельки сигнальной жидкости. Вещество, содержащееся в ней, тормозит превращение нимф в половозрелых особей. Интересно, что присутствие только «царя» или только «царицы» не оказывает достаточного влияния на метаморфоз. Для регулирования поведения и физиологических про-

цессов в организме термитов необходимы совместные усилия обоих «супругов». Если удалить из термитника «царскую чету», то в течение нескольких дней на «трон» взойдут новорожденные особи.

У термитов существуют и кастовые феромоны, которые определяют «профессию» особи. Если, например, в термитнике пропал «солдат», то для защиты городка срочно выкармливают нового «воина». Для передачи информации термиты в отличие от пчел-работниц выделяют феромоны вместе с экскрементами. При пропаже самки «объявляется тревога», и рабочие особи начинают откладывать яйца для замены «царицы».

Ученые обнаружили, что в фекальной выстилке крытых галерей, отходящих от жилища термитов, присутствует длительно действующий компонент следового феромона этих насекомых. Он довольно долго сохраняет свою активность, и даже по истечении 4 лет термиты реагируют на его запах.

В теле рабочей особи медоносной пчелы ученые обнаружили 8 летучих соединений: н-бутилацетат, изоамилацетат, изоамиловый спирт, Н-гексилацетат, 2-нонакол, н-децилацетат, бензилацетат, бензиловый спирт. Биологическая активность этой смеси была значительно выше, чем чистого раствора изоамилацетата — вещества, которое содержится в большом количестве в феромоне жала пчелы.

Специальные опыты показали, что передача феромона от неполовозрелой матки у медоносных пчел осуществляется «антеннами» рабочих пчел, которые передают его при контакте. При наличии запаха матки, адсорбированного на теле рабочих особей и трутней, ученые наблюдали враждебные отношения между пчелами в семье. Это, как правило, наблюдается поздним летом, когда в пчелиной семье присутствует большое количество пчел и сокращается расплод. Насекомые — источники высоких концентраций маточных феромонов воспринимаются остальными как «замещающие» матку и зажаливаются.

Удивительна способность пчел различать своих и чужих особей. Оказывается, соседи из других ульев или географических местностей имеют свою запаховую «визитную карточку». Такие же «визитки» есть и у муравьев. Тело обитателей муравейника покрыто веществами, которые служат им пропуском в дом. Если

этим специфическим феромоном подземного городка смазать жителя другой колонии, то последний будет с позором изгнан сородичами. Даже если муравей мертв, его «соплеменники» продолжают заботиться о нем как о живом. Однако со временем запах меняется, и муравьи удаляют мертвеца из муравейника. Любопытно, что если живого муравья пометить трупным веществом, члены колонии устроят «вынос тела» и сбросят его в какую-нибудь ближайшую кучу мусора. И не так-то легко будет этому «покойнику» вернуться в родной дом. Если запах, который сыграл с ним такую злую шутку, не улетучится, то бедняге придется туго и он может погибнуть.

Проводя лабораторные эксперименты с 18 колониями муравьев S. geminata, энтомологи заметили, что при появлении на освоенной этими насекомыми территории чужих особей хозяева немедленно нападали на непрошеных гостей.

Как было обнаружено в дальнейшем, насекомые знают свою территорию и отличают ее от чужой при помощи мечения секретом метаплевральных желез. Запах этого вещества — территориального феромона сохраняется на протяжении 6 ч и специфичен для каждой колонии муравьев. У неоплодотворенных самок огненного муравья сбрасывание крыльев ингибируется (тормозится) феромоном плодовитой царицы, причем они быстрее сбрасывают крылья в присутствии рабочих муравьев. Интересно, что в группах насекомых наблюдается более медленное сбрасывание крыльев, чем у одиночных особей. Кроме того, самки, которые уже сбросили крылья, оказывают тормозящее влияние на сбрасывание крыльев у других самок. Феромон «царицы» препятствует также расслаблению тканей мышц и быстрому образованию половых клеток.

Рабочие особи австралийского муравья прокладывают след при помощи пахучего секрета ректальной железы. Для мобилизации сородичей муравей-разведчик выделяет феромон при помощи другой железы — клоакальной.

В тропических лесах на бразильском острове Марака ученые наблюдали за поведением крупного муравья Pachycondyla commutata, который питается термитами. Используя феромонный след, насекомые переселяются из одного гнезда в другое на расстояние 10 м в течение 13 ч. Муравьи переносят расплод и самцов, двигаясь гуськом по 10...25 особей. Население одного гнезда составляет около 1800 яиц, 900 личинок, 700 куколок, 75 самцов и более 400 рабочих особей.

Энтомологи изучали реакцию рабочих муравьев Solenopsis invicta на запахи соплеменников. Как оказалось, феромоны личинок, рабочих особей и крылатых самок менее привлекательны, чем запах «царицы». Муравьи также хорошо реагировали и на муляжи, пропитанные экстрактом из царицы. Кроме того, отсутствие «царицы» в гнезде более 30 мин приводит к потере ее привлекательности для рабочих особей, и лишь возвращение в гнездо восстанавливает ее статус. Ученые объясняют это тем, что «царица» выделяет феромон в ответ на присутствие рабочих муравьев.

Известны случаи, когда «царица» одного вида муравьев оказывает влияние на рабочих особей другого подземного городка. Как правило, это можно наблюдать в «осиротевшем» муравейнике, когда рабочие муравьи готовы принять чужую самку, чтобы наладить жизнь колонии. Это обстоятельство использует «царица» кровавых «муравьев-рабовладельцев». Она нападает на муравейник и истребляет все взрослое «население» подземного жилища бурого лесного муравья. Молодые особи, не подозревая о случившейся трагедии в родной колонии, принимают самку кровавого муравья и начинают заботиться о ней.

Колонии муравьев Leptogenys chinensis, обитающих в Шри-Ланке, в основном питаются рабочими и крылатыми термитами. Разведчики, обнаруживающие термитов, спешат сообщить об этом своим соплеменникам, оставляя пахучий след с помощью тергальной (железа Жане) и ядовитой желез, волоча брюшко с обнаженным жалом по почве. Затем разведчик возглавляет цепочку рабочих муравьев, которые готовы к нападению на соседей. Если же случится непредвиденное и он не сможет быть проводником группы, то после некоторой растерянности муравьи сами смогут

найти жертву по оставленному им следу. Исследования ученых показали, что секрет железы Жане служит насекомым для мобилизации особей, а секрет ядовитой железы, состоящий из 2 компонентов, — это феромон следа. Муравьи используют пахучие следы для нахождения гнезд своего вида, при спаривании с самками, а также для переселения из гнезда в гнездо. Эти насекомые метят запахом следы даже в том случае, если переносят личинок или куколок.

Наблюдения энтомологов показали, что взрослые «солдаты» муравьев P. bicarinata ингибируют развитие новых «солдат». Установлено, что интенсивность такого ингибирования зависит от численности «солдат» в колонии и близости контактов их с личинками. Предполагается, что феромон повышает минимальную концентрацию ювенильного гормона насекомых, влияющего на возникновение специфических органов у «муравьев-солдат». Разработана модель эндокринной регуляции кастовой принадлежности у данного вида муравьев с учетом ингибирования развития «солдат».

У пчел имеются феромоны, которые, как сигнал горниста, приводят в боевую готовность всю семью этих общественных насекомых. Редко непрошенному гостю удается скрыться от встревоженных стражей, не получив изрядную дозу яда. При этом в место укуса рассерженные пчелы впрыскивают вещество, имеющее запах бананов. Ориентируясь по этому аромату, сотни соплеменниц устремляются за жертвой и жалят ее. В каждой порции яда содержится приблизительно 10^{-6} г изоамилацетата, который в течение 10 минут сообщает остальным членам пчелиной семьи местонахождение вражеского лазутчика. И несмотря на то, что после потери своего оружия пчела погибает, обитатели улья, получив сигнал тревоги, спешат на помощь.

Иначе поступают общественные осы. Прежде чем напасть на врага, они опрыскивают его капельками яда, к которому примешан феромон тревоги. Агрессивные соплеменницы набрасываются на жертву, беспощадно жаля ее.

Многие виды муравьев используют такую же химическую сигнализацию. Сигнал в виде феромона тревоги у одних муравьев вызывает паническое бегство, а у других, наоборот, — желание сражаться с врагом.

Маленькие воины яростно защищаются и даже переходят в атаку.

Существуют феромоны тревоги и в колониях термитов. Заметив врага, эти насекомые начинают вырабатывать особое вещество, которое служит сигналом опасности для соплеменников. Весь городок превращается в военный лагерь: рабочие особи берут на себя заботу о молодых термитах и провизии, а солдаты с мощными челюстями занимают оборонительные позиции и готовятся к отражению неприятельской атаки.

Агрессивную реакцию у муравьев-листоедов вызывает цитраль. Молекулы этого вещества настолько возбуждают солдат, что, добравшись до источника запаха, они уничтожают своими челюстями все живое. Если муравей в состоянии возбуждения не обнаружит врага, он может уничтожить своего соплеменника. Кроме цитраля, сигналами тревоги в колониях подземных жителей служат лимонен, терпинолен, альфа-пинен, дендролазин, а также другие летучие вещества.

Как правило, феромоны тревоги у насекомых синтезируются и затем выделяются из подчелюстных, анальных желез или жалящего аппарата. Защищаясь, шестиногие выпрыскивают секрет желез на врага, и тревога передается всем соплеменникам.

Жалящее оружие пчел и ос содержится в нескольких железах, которые выделяют одновременно и феромоны тревоги. Это наблюдается у ос рода Vespa, а также медоносных пчел.

Роль яда и феромона тревоги у муравьев выполняет одно вещество — муравьиная кислота. Большинство идентифицированных феромонов тревоги имеет относительно простое химическое строение. У муравьев они представлены простыми углеводородами, такими как ундекан, тридекан и пентадекан. Что касается других видов, то у них обнаружены альдегидные и кетонные производные этих углеводородов, а также компоненты эфирных масел — терпинолен и лимонен.

Более сложную структуру имеют терпеноиды — феромоны тревоги тлей. Так, например, сесквитерпен гермакрен А очень легко разрушается после того, как опасность нападения хищника миновала, и тли получают сигнал о возможности возвращения на старое место. Различные виды одного рода или разных родов

этих насекомых могут использовать один и тот же феромон тревоги.

Далеко не всегда феромоны тревоги представляют собой только сигнал к бегству или нападению. Гораздо чаще они кодируют более сложную информацию и представлены смесью веществ. Муравьи-портные при появлении хищника передают сигнал тревоги смесью феромонов из четырех кислородсодержащих углеводородов, которые воспринимаются насекомыми с различной чувствительностью. Чтобы привести муравьев в состояние боевой готовности, на них можно воздействовать альдегидом 1-гексаналем, а для привлечения к месту битвы необходим спирт 1-гексанол. Для стимуляции нападения на хищника необходим 2-бутил-2-октеналь. А четвертый компонент 3-ундеканон действует на насекомых одновременно с третьим как сигнал для ориентации на близком расстоянии. При атаке врага муравьи вызывают действием запахов определенную последовательность поведенческих реакций, которая обеспечивает надежную защиту от незваных гостей.

Муравьи могут также выступать в роли хищников при нападении на термитов. Используя феромоны мобилизации, эти насекомые проводят организованную атаку на колонию своей жертвы. Для того чтобы термиты не перехватывали их информацию по «химическому телеграфу», муравьи применяют «маскировку» этих сигналов, изменяя химическую структуру феромонов за счет перехода от алифатического альдегида к соответствующему спирту. Эта химическая реакция происходит в организме муравьев очень быстро.

Аналогичное приспособление — химическую мимикрию, но только связанную с маскирующей окраской кутикулы, используют для нападения на термитов жуки-стафилиниды. Эти хищники, внешне похожие на свои жертвы, подобны «волкам в овечьей шкуре».

В борьбе за существование шестиногие используют не только вещества, сигнализирующие об опасности, но и специальные средства защиты, относящиеся к определенному классу пахучих веществ. Они обладают отталкивающим и ядовитым действием и способны временно парализовать или даже вызвать смерть насекомых, паукообразных, а также некоторых других живых организмов. По классификации, предложенной

Я. Д. Киршенблатом, они получили название «аминоны», а химическое оружие охоты — «прогаптоны».

У некоторых насекомых есть специальное устройство — своеобразная химическая «пушка», которая стреляет зарядом отвратительных запахов. Механизм этого «секретного» оружия действует благодаря сокращению мышц или под давлением гемолимфы.

Жук-бомбардир (из семейства жужелиц), искусно владеющий этим средством, — довольно меткий стрелок. Порция ядовитой смеси, окисленная перекисью водорода, способна остановить даже лягушку или ящерицу. Этот «скунс» из мира насекомых обжигает усики неприятеля и обращает его в бегство. Заметив опасность, бомбардир производит выстрел, который сопровождается облаком голубовато-белого дыма и неприятным запахом. У других жужелиц это химическое оружие представлено целым рядом соединений: метакриловой, тиглиновой и муравьиной кислотами, а также метакрезолом. Особо ядовитым секретом для самозащиты пользуются клопы. Выбрасывая струю токсичных веществ на нападающих врагов или нанося яд ножками на тело противника, они парализуют или убивают насекомых.

Своеобразным оружием обороны природа снабдила термитов-солдат. Они вооружены специальным жидким составом, который может склеить челюсти и конечности противника. В эту клейкую жидкость, которой так метко стреляют термиты, входят бензохинол, терпены и другие летучие вещества, синтезируемые организмом подземных жителей. Кроме того, каста солдат, имеющаяся почти у всех видов термитов, осуществляет химическую защиту от врагов 3 основными способами: введением секрета через прокушенную кутикулу; нанесением его на поверхность тканей и выстреливанием секрета желез на расстоянии.

Первый способ применяют как «высшие», так и «низшие» термиты. У солдат рода Macrotermes секрет фронтальных желез представлен высокомолекулярными углеводородами, которые подобны минеральному маслу или парафину. Что касается следового феромона этих термитов, то единственным местом его локализации является стернальная железа. Размеры ее максимальны у больших рабочих, затем идут большие солдаты, малые солдаты и малые рабочие. Исследования

потенциальной активности феромонов показали, что по этому показателю касты термитов располагаются в следующей последовательности: большие рабочие, малые рабочие, сбросившие крылья самцы и самки, малые «солдаты», большие «солдаты». При прокладывании следа насекомые обнаруживают 3 формы поведения: прокладка сильного следа; прокладка слабого следа и отсутствие мечения пути. Хорошо проторенный след действует на термитов в течение 9 часов, однако время его действия зависит от касты термита, наносящего метку.

Солдаты рода Cubitermes используют химическое оружие, состоящее из уникальных и очень сложных по молекулярной структуре дитерпенов, а у солдат рода Armitermes защитный секрет представлен модифицированными жирными кислотами, состоящими из 22... 36 атомов углерода. Низшие термиты используют также контактные яды, представляющие собой жирные кислоты с короткой углеродной цепью молекулы (14... 16 атомов углерода), несущие на конце группу электрофильных атомов. Подобные яды, проникая через кутикулу насекомых, поражают жертву, как наконечник отравленной стрелы.

Третий способ химической защиты характерен для наиболее прогрессивного в эволюционном плане рода термитов Nasutitermitinae. Эти насекомые выбрасывают в сторону врага клейкое вещество, похожее на смолу хвойных деревьев и состоящее из смеси монотерпенов и изопреноидов с высокой молекулярной массой. Кроме парализующего эффекта этот яд оказывает также контактное действие. Ученые установили, что носатые термиты способны синтезировать этот ядовитый секрет.

Анализируя химический состав секрета термитов из различных частей света, исследователи пришли к выводу, что химическое оружие этих шестиногих имеет одинаковую природу.

Насекомые используют химические соединения не только для защиты от врагов, но и в качестве оружия нападения.

Тропический водяной жук при помощи ядовитой слюны поражает моллюсков и рыбок, пожирая их икру. Интересно, что этот смертельный для многих обитателей тропических вод яд жители Юго-Восточной

Азии используют в качестве приправы к пище.

У многих шестиногих в отличие от змей, пауков и скорпионов яд обладает узконаправленным действием. Он поражает живые «мишени», на которых насекомые могут паразитировать. Например, наездник своим оружием может без труда парализовать гусениц мельничной и пчелиной огневок. Однако его ядовитый секрет безвреден для гусениц других бабочек.

Жалящие шестиногие — осы и пчелы — имеют также довольно ядовитое оружие, в составе которого обнаружены гистамин, фосфолипаза и гиалуронидаза. Муравьиная кислота обитателей муравейников служит им не только для защиты, но и для охоты на насекомых. Анализируя содержимое ядовитой железы различных видов муравьев, ученые обнаружили углеводороды, изовалериановую и пропионовую кислоты, альдегиды, кетоны, лактоны, терпеноиды, а также соединения, обладающие инсектицидной или фунгицидной активностью.

Многообразны средства химической защиты у насекомых. Это токсины, синтезируемые в специальных железах, а также содержащиеся в гемолимфе или кишечнике шестиногих. Это и ядовитые секреты желез, которые выбрасываются под давлением или просто выделяются на поверхность тела врагов. В большинстве своем химическое оружие насекомых представлено веществами такой же природы, что и вторичные метаболиты растений. Как правило, шестиногие применяют для самозащиты следующие химические соединения: терпеноиды, алкалоиды, фенолы и хиноны.

Низкомолекулярные терпеноиды — летучие вещества с сильным запахом, который отпугивает неприятеля. Их пары оказывают раздражающее действие, а капли, попав на покровы хищника, вызывают жжение и зуд. Так, сосновый пилильщик использует для защиты маслянистые выделения, идентичные терпеноидам смолы растения-хозяина. Личинки насекомых получают эти вещества с пищей и при приближении

врагов разбрызгивают их при помощи сократительных придатков пищевода. Исследования ученых показали, что в смоле сосны, а также в защитных секретах насекомых присутствует смесь моно- и дитерпенов. Смола — это своеобразная «кольчуга» растения. Однако пилильщик не только свободно прорывает ее, но и использует в качестве химического оружия против своих врагов. Это один из немногих видов насекомых, которые в процессе эволюции пошли по очень экономичному пути обороны от врагов — за счет растения-хозяина. Большинство же шестиногих синтезируют защитные вещества из исходных химических соединений растительного происхождения. Так, палочники и муравьи образуют терпены из ацетатов. Кроме терпенов растений — долиходиала, цитронеллаля и цитраля, в гемолимфе взрослых особей шпанской мушки обнаружен кантаридин, вызывающий сильное раздражение и служащий основой опасного яда, получившего название «афродизиак шпанской мушки».

Жук-стафилин применяет для своей защиты терпеноид иридодиал и кетон 4-метилгексан-3-он. Смесь этих двух веществ обладает неприятным запахом.

Некоторые шестиногие, например бабочка-монарх, используют для самообороны вещества, подобные сердечным гликозидам — карденолидам. Токсины, относящиеся к стероидным соединениям, накапливают в своем ядовитом молочке жуки-плавунцы. У хищников, которые случайно проглотили этих насекомых, наблюдаются симптомы отравления, или они впадают в наркотическое состояние. Яд плавунцов представляет собой несколько производных стероида прегнана. Интересно отметить, что у одного вида плавунцов секреты содержат половые гормоны млекопитающих: тестостерон, дегидротестостерон, эстрадиол и эстрон.

Раньше считали, что алкалоиды участвуют только в процессах жизнедеятельности растений. Однако в последнее время установлено, что они играют важную роль в механизмах защиты насекомых, особенно бабочек, от врагов. Алкалоид сенеционин накапливается в организмах бабочек-медведиц и бабочек-данаид, а аристолоховая кислота у некоторых других видов. Многоножки, огненные муравьи, божьи коровки и плавунцы синтезируют алкалоиды сами. Гломерин и гомогломерин — токсины многоножек могут вызвать у

хищников не только раздражение, но даже паралич и смерть. Очень ядовиты огненные муравьи Рихтера, секреты которых обладают гемолитическими, инсектицидными и антибиотическими свойствами. Действующее начало яда этих шестиногих — смесь 2,6-диалкилпиперидинов. Подобные соединения имеют структурное сходство с растительным алкалоидом кониином. Они обнаружены также в ядовитых секретах семи видов муравьев.

Как выяснилось, различия в структуре синтезируемых муравьями пахучих молекул ставят некоторые виды этих насекомых в выгодное положение. Так, например, муравьи-воры используют алкалоиды с измененной структурой для двух целей: с одной стороны, эти соединения играют роль защитных веществ, так же как и у огненных муравьев, а с другой — репеллентов для других видов насекомых. При помощи этих феромонов как муравьи-воры, так и фараоновы муравьи похищают личинок из соседних муравейников.

Божьи коровки, если их потревожить, выпускают алкалоид кокцинеллин, который защищает их от муравьев и перепелов. Представляет также интерес то, что концентрация этих веществ взаимосвязана с отпугивающей окраской насекомых. Жуки-плавунцы синтезируют для самозащиты алкалоид метил-8-гидроксихинолин-2-карбоксилат. Этот токсин не защищает их от земноводных и рыб, однако у наземных животных, в частности у мышей, его действие вызывает судороги. Кроме того, это вещество обладает антисептическим действием и предохраняет этих шестиногих от воздействия микроорганизмов.

Мы уже знакомы с жуками-бомбардирами, которые используют горячее облако фенолов (температура секрета достигает 100°С) для защиты от врагов. Реакция, протекающая в присутствии гидрохинона, перекиси водорода и фермента каталазы, приводит к образованию бензохинона и сопровождается звуком, который напоминает выстрел из пистолета. Такое «огнестрельное оружие», кроме жуков-бомбардиров, применяют также жужелицы и жуки-чернотелки. Около 150 видов шестиногих используют в целях самообороны 2-метил- и 2-этилбензохиноны. Паукообразные, многоножки, уховертки и термиты также применяют это эффективное средство защиты. Интересно, что у термитов бен-

зохиноны обнаружены только у касты солдат, призванной защищать колонию насекомых от неприятеля. Эти вещества находятся у них в специальных железах на голове.

Хорошо известный краситель — кармин широко используется в различных отраслях народного хозяйства. Производитель этого красящего вещества — кошениль живет и питается на кактусах. Однако лишь в последнее время благодаря исследованиям американского ученого Т. Эйзнера стало ясно, для чего нужен кармин самим насекомым. Оказалось, что это красящее оружие токсично по отоношению к врагам кошенили — муравьям. Это же соединение используют против муравьев насекомоядные гусеницы огневки Lactilia coccidivora, которые поедают червецов и накапливают токсин для вторичного использования.

Для защиты от врагов насекомые синтезируют в своем организме и фенольные соединения. Так, фенол и гваякол вырабатываются многоножками и клопами из аминокислоты тирозина. Интересно, что у некоторых прямокрылых насекомых защитный секрет содержит 2,5-дихлорфенол, который синтезируется последними из поглощенных с пищей гербицидов.

Жизнь жуков-плавунцов полностью зависит от гигиены тела, и защитные вещества служат им для борьбы с микробами. Чтобы пополнить запасы воздуха, жуки должны время от времени выставлять брюшко над водой, а это возможно лишь при условии сухого хитинового покрова тела. Если к насекомым прикрепляются водоросли, грибы или бактерии, жуки не могут дышать, так как нарушается их плавучесть, и погибают. Используя присутствующие в секретах фенольные соединения, эти шестиногие убивают микроорганизмы и при помощи гликопротеиновой сети «собственной конструкции» избавляются от останков жертв. Так, благодаря антимикробному действию фенолов жуки-плавунцы могут свободно дышать на поверхности водоемов.

В рассказе о мире общественных насекомых уделено внимание лишь некоторым химическим соединениям, играющим важную роль в жизни этих представителей животного мира. Из таких веществ состоят «молекулы любви», феромоны агрегации, следа, тревоги, защиты и нападения. Как же ориентируются

шестиногие в этом «море» пахучих невидимок? Какие навигационные приборы помогают насекомым найти верный путь к самочке или ароматному цветку, а также избежать опасностей, подстерегающих их на каждом шагу в «джунглях» окружающего мира?

УСИКИ-ЛОКАТОРЫ

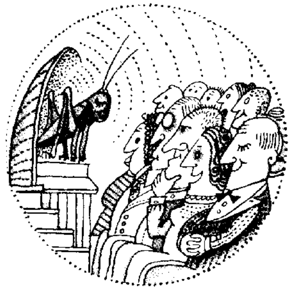
Как бы ни был короток век насекомого, оно получает полный набор зрительных, звуковых, химических и прочих сигналов, а органы чувств переводят эту информацию на стандартный для нервных клеток язык. Сколько же у организма способов получения информации из хаоса образов, звуков и запахов? Оказалось, что органы чувств, которыми владеет любой представитель животного мира планеты, разделены природой на механические и химические принимающие системы.

В качестве примера приведем слух. Насекомые воспринимают звуки специализированными рецепторами (от латинского слова receptor — принимать), к которым относятся волосковые сенсиллы (плотные скопления чувствительных клеток), тимпальные мембраны и джонстоновы органы. Волосковые сенсиллы найдены у кузнечиков, домовых сверчков, медоносных пчел. Тимпальные мембраны известны у цикад, саранчовых, некоторых видов бабочек, сверчков и кузнечиков. Джонстоновы органы имеют только некоторые виды насекомых, например комары.

Насекомые не только воспринимают, но и сами довольно активно распространяют акустические сигналы. Например, термиты с этой целью стучат головой как молоточком. Живущие в древесине жуки-часовщики, получившие свое прозвище за ритмичные, как тиканье часов, звуковые сигналы, общаются сходным способом. Некоторые виды бабочек стучат крылышками.

Другим способом сигнализации владеют насекомые, звуковой аппарат которых — трущиеся друг о друга элементы. Многие виды жуков издают сигналы при помощи трения ног, снабженных специальными выростами о ребристые поля на груди и брюшке. Саранчовые насекомые скребут лапками о крылья. Своя техника «игры» у кузнечиков и полевых сверчков.

В некоторых странах даже разводят этих насеко-



мых-музыкантов. Да и почти каждый из нас, бывая в поле, с доброй улыбкой прислушивается к стрекотанию кузнечиков. В книге «Листья травы» поэт Уолт Уитмен восклицает: «А кузнечики! Как описать мне их задорную речь? Один из них поет, сидя на иве прямо против открытого окна моей спальни, в двадцати ярдах от дома; последние две недели он каждую ночь, при ясной погоде, убаюкивает меня».

Казалось бы, ну какой прок от изучения зрительной, акустической или иной другой системы сигнализации? Еще один заполненный пробел в наших знаниях о природе, интересный только для узкого круга энтомологов?

Конечно же нет! Без подобных знаний несравненно труднее, а подчас и просто невозможно бороться с насекомыми-вредителями. К сожалению, иной раз наступление на этих шестиногих оборачивалось большими потерями. Вред, нанесенный природе, оказывался более заметным, чем предполагаемый урон в рядах «неприятеля». И еще один аргумент в пользу изучения насекомых. Несмотря на сравнительную простоту строения тела шестиногих, природа снабдила их совершенными рабочими органами, детальное знакомство с которыми представляет интерес для бионики. Ведь не секрет, что некоторые «образцы технического оснащения» насекомых — пока еще недосягаемый эталон для науки и техники.

Известный советский энтомолог П. И. Мариковский писал об эксперименте, который он провел в природных условиях с клещами гиаломма азиатика. «Меня всегда поражала чутьистость и быстрота бега этих клещей, — пишет П. И. Мариковский. — Пустыня с ее суровыми законами жизни выработала такие свойства у этого кровопийцы. Но при помощи какого органа он разыскивает свою добычу, было непонятно». Далее, описывая эксперимент, энтомолог отмечает, что ветер дул на него, и, следовательно, клещи бежали «по ветру». Вероятнее всего чутье тут было ни при чем, зрение — тоже: все членистоногие очень близоруки.

И слух навряд ли мог помочь им в поиске, так как П. И. Мариковский сидел тихо, не шевелясь, на походном стульчике. Ученый устроил с клещами игру, чем-то напоминающую известную детскую забаву «обознатушки-перепрятушки». Он не только перебегал с места на место и прятался от клещей в кустах, но и подбрасывал им то свою майку, то кепку. Насекомые оказались удивительно искусными и настойчивыми сыщиками. Они «не клюнули на приманку», не обратили внимания на вещи ученого и бежали только к нему. П. И. Мариковский предположил, что от млекопитающих и человека исходит какое-то излучение. Он решил изолировать себя от насекомых, закрывшись в машине. Несмотря на всю свою «чутьистость», клещи, даже бродя вблизи машины, не могли разыскать энтомолога, экранированного сталью и стеклом от своих преследователей. Чтобы хоть в какой-то степени пролить свет на эту «чутьистость» насекомых, исследователь отрезал на двух передних ножках гиаломмы конечные членики, на которых располагаются, по всей вероятности, некоторые органы чувств клеща. Оперированные насекомые прекращали дальнейшие поиски в отличие от клещей, которым такая же операция была сделана на одной лапке. Потеря только одного членика не мешала последним устремляться вслед за добычей не хуже здоровых.

«Трудно сказать, в какой мере убедительны мои эксперименты, — писал по этому поводу П. И. Мариковский. — Для окончательной разгадки таинственной чутьистости клещей их, конечно, мало. Однако уже ясно, что клещам в поисках добычи помогает не зрение, не слух, не обоняние. Я верю в загадочное излучение, исходящее от человека. Но какого совершенства и необычайной сложности достиг маленький аппарат на концах лапок клещей, крошечный комочек, едва различимый в лупу, способный воспринимать ничтожную силу излучения! Вот бы разгадать его устройство и функцию. Какое бы это было открытие для науки и техники!»

Что ж, немало еще секретов природы предстоит разгадать биологам. И кто знает, не окажутся ли дальнейшие исследования подобных «приемников излучения» у насекомых тем ключом, с помощью которого удастся разгадать тайну удивительного явления природы — биополя.

Выявлены и другие органы сигнализации, встречающиеся у насекомых. Например, субгенуальные органы, или виброрецепторы, которые воспринимают тончайшие колебания воздуха. Высокой чувствительностью к вибpayволнам обладают кузнечики. Однако их превосходит по этому показателю один из видов тараканов. Последние, подобно современным сейсмическим приборам, реагируют на колебания, амплитуда которых при частоте 1,5 килогерца составляет тысячные доли нанометра. Не с этой ли особенностью связана способность некоторых насекомых улавливать далекие подземные шумы — предвестники грядущего землетрясения?

У насекомых весьма совершенны органы чувств, которые реагируют на перепады температуры и изменение влажности (термо- и гигрорецепция). Кроме того природа наделила их относительно крупными и совершенными органами зрения, которые позволяют многим видам ориентироваться не только днем, но и ночью.

В настоящее время известно, что древнейшие обитатели Земли способны использовать для ориентирования в пространстве электромагнитные поля. Ученые высказывают предположение о том, что этот тип информационного взаимодействия помогает насекомым быстро координировать движения при скоплении особей. В этом случае быстрые маневры с резкими остановками и почти мгновенными поворотами практически никогда не приводят к столкновениям между отдельными насекомыми.

Справедливы слова американского ученого-биохимика Сент-Дьёрди (одного из основоположников биоэнергетики) о том, что «в живой природе часто работают системы более сложные, чем те, которыми пользуются физики для проверки своих теорий». Известно, что экспериментальные установки этих специалистов занимают огромные площади, а масса оборудования порой достигает нескольких сотен тонн. К услугам ученых сложнейшие электронные микроскопы и газо-

анализаторы. Но сопоставим все техническое вооружение людей с «аппаратами», которыми снабдила насекомых природа. Не приуменьшая заслуг ученых, создавших уникальные приборы и установки, надо признать, что по чувствительности, миниатюрности и компактности своих «изделий» природа ушла намного вперед. Правда, в ее распоряжении были миллионы лет.

Многочисленные наблюдения и эксперименты позволили классифицировать восприятие насекомыми различных сигналов. Известно, что для выполнения сложных поведенческих актов насекомые имеют многообразные, отточенные и гибкие системы сигнализации. Установлена и значимость того или иного способа сигнализации для различных видов шестиногих. Оказалось, что у многих насекомых главенствует все же химическая ориентация — один из древнейших способов общения в мире живых организмов. Она служит для выполнения трех непременных жизненных задач: питания (трофическая), размножения (репродуктивная), расселения (социальная).

Почему же природа «наградила» насекомых таким чувствительным обонятельным аппаратом? Объяснить это можно только тем, что химические сигналы — самые полезные для жизнедеятельности особи. Эти сигналы хорошо воспринимаются на свету и в полной темноте, на значительных расстояниях и вблизи, а также они долго сохраняют информацию.

Рассмотрим механизм действия химической сигнальной системы. Сведения поступают к насекомым и вызывают действие «без альтернативы», так как выполняют только определенные биологические действия, запрограммированные природой. Никаких других поведенческих реакций под влиянием феромонов у шестиногих не происходит.

Поражает высочайшая чувствительность воспринимающих устройств насекомых и их надежность. Запаховые приемники различных видов шестиногих, даже входящих в одно семейство, настроены на определенные составы и концентрацию феромонов.

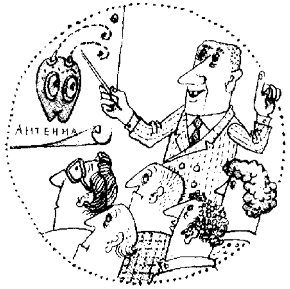
Казалось бы, можно говорить о совершенно четкой и устоявшейся связи: феромон — насекомое; специфический сигнал (запрос) — определенное биологическое действие (ответ). Однако в последнее время появились сообщения о том, что в этой «монолитной стене» поведения насекомых обнаружилась брешь. Оказалось, например, что не все зрелые индивиды (яблонная плодожорка, жуки короеды-«типографы» и даже вездесущие и неистребимые рыжие тараканы) реагируют на предлагаемые им специфические феромоны. Вопреки ожиданиям, некоторая часть из «присутствующих при сем» насекомых остается совершенно безразличной к половым феромонам. И дело совсем не в качестве «товара», предложенного насекомым, так как большая часть шестиногих откликается на зов «искусственной самки». Почему же некоторые насекомые остаются в бездействии, даже находясь в «феромонном эпицентре», и не мчатся стремглав на могучий зов феромонов? Точного ответа пока нет, но не исключено, что они потеряли эту способность в результате какого-то, пока еще не выясненного заболевания. А может быть, мудро распорядилась природа, сделав часть особей невосприимчивой к половым феромонам.

Без изучения системы обоняния, без знания конструкции хеморецепторов было бы трудно не только понять и оценить многое в поведении насекомых, но и разработать средства борьбы с вредителями.

Только познав механизм явления, человек может стать подлинным хозяином положения. Однако если у природы в распоряжении было предостаточно времени для постепенного отсекания неудавшихся или зашедших в тупик вариантов, то исследователи, к сожалению, ограничены заранее сформулированной задачей и временем.

Известный советский энтомолог профессор Г. А. Мазохин-Поршняков заметил как-то, что именно на насекомых природа испытала всевозможные пути приспособления к жизни, к использованию в качестве пищи органических веществ и проверила на них самые разнообразные органы чувств. Неудивительно, что, проводя «опыт» в масштабе планеты, природа «экспериментировала» и с органами хеморецепции, доводя их до совершенства.

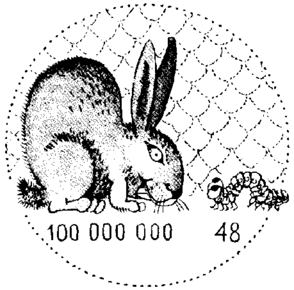
Хеморецепторные клетки различных видов насекомых обнаруживают огромное сходство в своем строении. Любая из них снабжена подвижным волоском или жгутиком. Жгутики в этих клетках выполняют ту же роль, что и антенна в радиоприемнике. Они



находятся в беспрерывном движении, поскольку с их помощью насекомое воспринимает мир запахов. В устройстве жгутиков различных хеморецепторных клеток много общего. Практически все они внутренним строением походят друг на друга: центральные (опорные) волокна окружены кольцами подвижных. Жгутики возбуждают хеморецепторные клетки, которые в отличие от обонятельных рецепторных клеток человека и позвоночных животных избирательно реагируют на конкретные химические соединения, важные исключительно для данного вида.

Так же как и другие насекомые пчелы улавливают запахи при помощи усиков-«антенн». Исследование этих «локаторов» показало, что наиболее чувствительные хеморецепторы расположены на шестом, седьмом и восьмом члениках. Основную нагрузку при восприятии пахучих молекул несут так называемые плакоидные сенсиллы — овальные пористые пластинки с углублениями диаметром 12...14 мкм. Количество их у членов пчелиной семьи неодинаково. Так, у рабочих пчел на каждой «антенне» находится от 3600 до 6000 подобных пористых пластинок, а у маток всего около 3000. Но подлинные рекордсмены — трутни, на каждой «антенне» которых обнаружено примерно около 30 000 плакоидных сенсилл. По-видимому, эти члены пчелиной семьи лучше всех своих соплеменников пользуются химическим языком. Ампутация всего одного усика значительно затрудняет пчелам поиск пахучих меток. С еще большими трудностями они сталкиваются, если эти органы обездвижить. Интресные опыты провел американский энтомолог Х. Мартин. Он надевал на пчелиные усики микроскопические стеклянные капилляры, на концах которых находились летучие вещества. Ученый определил, что 2,5-кратный градиент концентрации этих соединений достаточен для того, чтобы пчела выбрала правильное направление полета.

Насекомые значительно уступают по размерам тела млекопитающим и поэтому обладают меньшим числом



чувствительных клеток. Например, у кролика в обонятельном эпителии их около 100 млн., а у гусеницы бражника всего 48. Вместе с тем по способности распознавать запахи насекомые не уступают крупным животным. Количество перекрыто качественным показателем — специализацией. Обонятельные сенсиллы хеморецепторных органов насекомых обладают более высокой специфичностью и избирательностью по сравнению с аналогичными органами позвоночных животных.

Наука достигла больших успехов в создании приборов, позволяющих заглянуть в глубь клетки или в просторы Вселенной, но до сих пор ученые так и не смогли сконструировать надежный «искусственный нос», способности которого хотя бы отдаленно приближались к возможностям обонятельных рецепторов насекомых.

Чувствительность усиков-«антенн», которые «вылавливают» из моря запахов молекулы определенных пахучих веществ, поразительна. Обонятельная система насекомых различает такие концентрации веществ (порядка 10...100 молекул в 1 см^3), восприятие которых недоступно для современных аналитических приборов. С такой чувствительностью не сравнится ни один «искусственный нос».

В изучение механизма восприятия молекул химических веществ органами чувств насекомых большой вклад внес крупный советский энтомолог Ю. А. Елизаров. Его монография «Хеморецепция насекомых» стала своеобразным «островком знания» в океане еще неразгаданных тайн мира насекомых.

В этой научной работе, в частности, приводятся несколько вариантов классификации хеморецепторных сенсилл, в том числе и по их наружной морфологии.

Установлено, что бывают длинные прямые волоски и слегка изогнутые (хетоидные и трихоидные сенсиллы). Первые встречаются на «антеннах» жуков-короедов, а вторые — на хоботках мух, а также на усиках

самцов бабочек сатурний и других видов чешуекрылых.

Среди хеморецепторов наиболее распространены короткие волоски, или конусы с закрепленными кончиками, — базиконические сенсиллы. Их находят на «антеннах» и других частях тела различных насекомых. Известны также стилоконические сенсиллы — крошечные чувствительные конусы, обнаруженные на усиках бабочек, булавовидные — найденные у комаров и москитов, целоконические, расположенные на «антеннах» самцов и самок тутового шелкопряда. Принцип работы у всех сенсилл одинаков.

В выборе форм природа оказалась чрезвычайно изобретательной, не обойдя практически ни одной из известных нам геометрических форм.

Окончательно классифицировать сенсиллы помогут совместные работы энтомологов и химиков, оснащенных самой современной электронной аппаратурой и новейшими методами электрофизиологических исследований.

Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, Институт зоологии и паразитологии АН Литовской ССР начиная с 1971 г. проводят в Вильнюсе Всесоюзные симпозиумы по хеморецепции насекомых. Ученые докладывают о своих работах в области морфологии чувствительных органов насекомых, а также обсуждают новые методики проведения исследований.

Ученые долго не имели данных о чувствительных клетках «антенн» такого широко распространенного вредителя, как яблонная плодожорка. Но в настоящее время биологи изучают способы получения этим вредителем информации извне, так как это может помочь в разработке новых методов борьбы с ним.

«Антенны» яблонной плодожорки вооружены трихоидными, стилоконическими и целоконическими сенсиллами. На одну «антенну» у самцов в среднем приходилось от 5000 до 8000 трихоидных сенсилл, что в 2 раза больше, чем у самок, а целоконических и стилоконических — около 400 и 40 соответственно. Энтомологи предполагают, что разница в количестве трихоидных сенсилл у разных полов яблонной плодожорки объясняется тем, что у самцов они играют более важную роль, чем у самок, так как воспринимают половые феромоны, которые выделяют девственные самки.

Чтобы представить всю сложность работы исследователей, остается назвать размеры объектов, с которыми приходилось работать. Длина самой большой сенсиллы около 50 мкм, а самой маленькой — 9... 10 мкм. Даже фильтрующий вирус табачной мозаики по сравнению с сенсиллой выглядит великаном, он примерно в 10 раз больше сенсиллы!

Академик А. Е. Ферсман как-то заметил: «Без хронологии нет истории, как без истории нет науки». Методика получения электроантеннограмм (ЭАГ) сравнительно молода, но и она уже имеет свою историю.

Электрофизический метод изучения обонятельных органов насекомых ученые впервые применили примерно четверть века назад. В его основу был положен принцип регистрации биоэлектрических потенциалов живых организмов.

Практически исследования проводились следующим образом. В полость «антенны» насекомого-самца вводили микроэлектроды. Затем ее обдували воздухом, содержащим половые аттрактанты этого вида шестиногих. Специальные датчики определяли длительность раздражения обонятельных органов насекомого и регистрировали отклонение биоэлектрического потенциала. Эти данные записывались приборами в виде графиков, расшифровав которые исследователи получили ценный научный материал.

Электрофизический метод позволил ученым лучше понять взаимосвязь между работой усиков-«антенн» насекомых и поведением последних в природе.

Оказалось, что обонятельные сенсиллы на «антеннах» некоторых насекомых отвечают не только на половые феромоны и близкие к ним химические вещества. Они реагируют на соединения, которые действуют как пищевые аттрактанты.

Открылась возможность глубже изучить проблемы химической взаимосвязи насекомых и растений и исследовать вещества, выделяемые растением-хозяином, которые служат пищевыми стимуляторами для насекомых.

Известно, что насекомые обладают способностью привыкать к ядам. Это произошло с озимой совкой —

опасным вредителем урожая. Многочисленные и разнообразные «газовые атаки» на ее популяции создали из совки «многоядного» вредителя. Бороться с ней стало чрезвычайно трудно, так как она хорошо приспособилась употреблять вместе с пищей широкий набор ядохимикатов. Здесь-то и понадобились знания биологии насекомого. Известно, что самки бабочки совки начинают выделять половой аттрактант, а самцы воспринимают его лишь после своеобразной «подзарядки» цветочным нектаром. Возможно, некоторая доза его служит своеобразным допингом, а может быть, она — природный триггер (механизм запуска) половых «сигналов-ответов» озимой совки.

Энтомологи обнаружили, что температура окружающей среды — один из факторов, влияющих на амплитуду электроантеннограмм при раздражении антенн насекомых. Так, для самцов тутового шелкопряда при воздействии 10 мкг феромона бомбикола максимальная реакция наблюдается при 20...25°С, а у бабочек зимней пяденицы наибольшая активность при действии экстракта желез самки отмечается при 12°С. В природных условиях размножение вышеперечисленных насекомых происходит именно при таких температурах.

После электрофизической оценки синтетических аналогов (энантомеров) феромонов бабочек учеными была высказана гипотеза об образовании в рецепторах насекомых специфических ионных каналов для молекул феромона.

Исследователи при изучении активности феромонной смеси, состоящей из цис- и трансвербенола, ипсдиенола и ипсенола в соотношении 1:0,24: 0,18:0,25, отметили максимальную электрофизиологическую реакцию у самцов и самок жуков короеда-типографа.

Увеличение концентрации транс- и цисвербенола не влияло на величину ЭАГ у обоих полов насекомых, а в случае с ипсдиенолом приводило к изменению ее амплитуды. Смесь феромонов воспринималась насекомыми как самостоятельный химический сигнал.

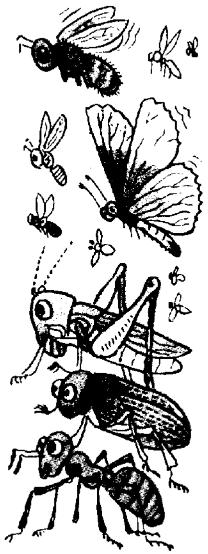
Подобные исследования также провел исследователь хеморецепции насекомых Ю. А. Елизаров, который отмечал, что электроантеннограмма в отдельных случаях может быть использована и при анализе пахучих молекул пищевых субстратов насекомых.

Высокая чувствительность феромонных рецепторов шестиногих хорошо известна. Так, для возбуждения рецептора самца тутового шелкопряда достаточно всего одной молекулы бомбикола. Поэтому одна из основных проблем в изучении феромонной связи насекомых — выяснение принципов работы их воспринимающей системы, что необходимо для разработки приборов, распознающих запахи.

Химики широко используют электрофизиологические методы для изучения реакций насекомых на воздействие различных веществ.

Благодаря работам ученых химический язык насекомых перестает быть тайной «за семью печатями».

ДИАЛОГ ДВУХ ЦАРСТВ



КРЫЛАТЫЕ ОПЫЛИТЕЛИ

Нам очень нравятся поэтические строчки русского поэта XIX века Аполлона Николаевича Майкова, тонко чувствовавшего родную природу:

Долина вся в цветах.
Над этими цветами
Рой пестрых бабочек —
Цветов
Летучих
рой...

Где чаще всего можно встретить красивых бабочек или крылатых сборщиц меда, майских жуков или божьих коровок? Ответ будет однозначным: конечно, на зеленых кормильцах — растениях.

Насекомые и растения... Многочисленные шестиногие и их зеленые соседи по планете сосуществуют вместе миллионы лет. Растительный мир во всем своем многообразии прекрасно служит мириадам насекомых различных видов. Растения представляют им кров, пищу, выполняют функции «родильного дома» и «детского сада». Днем и ночью растительноядные насекомые — обитатели лесов и полей, садов и огородов —

пользуются услугами растительного царства. Пчелы и осы собирают нектар на цветках, тли и клопы сосут сок из листьев и плодов, жуки-короеды пробуравливают стволы лесных великанов, а долгоносики и огневки «лакомятся» созревшими семенами растений.

Многие из этих «нахлебников» не остаются в долгу и приносят пользу растениям. Перелетая от цветка к цветку и унося с собой на ножках или брюшке пыльцу, насекомые способствуют продолжению рода растительных организмов. Только пчелы опыляют около 65% яблоневых цветков.

Пчелы — одни из самых многочисленных представителей перепончатокрылых. В мире насчитывается около 20 тыс. видов пчел. Они распространены повсюду, где есть цветковые растения. Предками современных пчел, по-видимому, были хищные насекомые, подобные одиночным роющим осам, жившие примерно в середине мелового периода (100 млн. лет назад), когда цветковые растения уже заняли доминирующее положение на нашей планете.

Все виды пчел выкармливают своих личинок тестом из пыльцы и нектара цветков. Эволюция этих насекомых неразрывно связана с эволюцией цветковых растений, и, наоборот, существование большинства цветковых (примерно 90 %) невозможно без насекомых-опылителей, в основном пчел как медоносных, так и одиночных.

Большинство людей считает, что основные атрибуты жизни этих насекомых — улей и сложная социальная организация особей. В действительности же более 85 % видов пчел — не общественные, а одиночные насекомые, у которых каждая самка спаривается с самцом, строит собственное гнездо, состоящее примерно из 10 ячеек, наполняет их пищей для будущих личинок, откладывает туда яйца и умирает, прежде чем ее потомство появится на свет.

Одиночные пчелы предпочитают для своих гнезд и ячеек открытые участки с сухой светлой почвой, освещаемые по утрам солнцем. Эти насекомые строят свои гнезда в земле и смазывают ячейки маслянистой жидкостью. Пчела выделяет ее из специальной железы. Эта ароматическая и маслянистая жидкость пахнет мускусом. Однако встречаются виды земляных пчел, которые для смазывания гнезд «обратились» за

помощью к своим друзьям — растениям. Эти насекомые используют своеобразный взяток — смолу растений.

Порой одиночные пчелы образуют большие колонии, в которых насчитываются тысячи, а то и миллионы гнезд. Однако каждая самка строит свое гнездо строго самостоятельно. В августе 1960 г. на крутом невозделываемом склоне берега реки Барыш, притока Суры, недалеко от села Ховрино Ульяновской области, была обнаружена самая большая из известных колоний одиночных пчел, которая занимала площадь около 360 тыс. $м^2$ и протянулась на 7 км по берегу реки. Эта колония состояла примерно из 12 млн. гнезд.

Одиночные пчелы опыляют культурные и дикие растения и поэтому играют исключительно важную роль в природных экологических системах.

В 1802 г. натуралист Уильям Керби писал: «Я часто думаю о том, что если бы джентльмены, которые развлекаются химическими экспериментами, направили свое внимание на насекомых, это наверняка привело бы к открытию новых могучих лекарств. Многообразие сильных запахов, которые издают эти мелкие существа, удивительно...»

Действительно, разнообразные запахи служат для пчел и ос средствами связи и защиты. Эти насекомые выделяют в различных комбинациях терпены, альдегиды, кетоны, эфиры и другие едкие и ароматические соединения.

Характерной чертой взаимовыгодного сотрудничества двух царств природы стало опыление. Известный французский ученый, специалист по химической сигнализации насекомых Мишель Барбье считает, что привлечение насекомых душистыми веществами цветов способствует их опылению и служит классическим примером химических взаимодействий между двумя царствами. Однако не всегда источником пищи служат растительные организмы.

РАСТЕНИЯ-ЛОВУШКИ

Фантаст Герберт Уэллс так описал орхидею «вампир», которая во время цветения сначала одурманивает жертву запахом, а потом якобы высасывает из нее кровь: «Цветы были белые, с золотисто-оранжевыми полосками на лепестках; тяжелый околоцветник изогнулся, и его чудесный голубоватый пурпур смешался с золотом лепестков. Но какой нестерпимый запах! Как душно в оранжерее! Цветы поплыли у него перед глазами. И он упал без сознания». Подобная история, конечно, выдумка. Однако...

Еще в прошлом веке верили, что в тропических джунглях существуют жуткие растения, которые охотятся на животных. В современной научно-фантастической литературе, описывая приключения землян на далеких планетах, писатели-фантасты нередко используют сцены нападения на них плотоядных кустов и деревьев.

Ну хотя бы такую, какую изобразил Роберт Шекли в рассказе «Похмелье». Его герой Пирсен попадает на Венеру: «Зеленая ветка доползла ему до щиколотки. Изогнутый листик очень медленно и нежно ткнулся в мякоть ноги. На миг стало щекотно, но не больно. Почти тотчас же листик сделался красноватым. Растение-кровопийца, подумал Пирсен, ишь ты!»

Действительность, однако, более прозаична. Земные растения-хищники невелики по размерам и питаются мелкими насекомыми. Используя разнообразные приспособления, например липкие листья или плоды-ловушки, привлекательную окраску и тонкий аромат цветов, растения обеспечивают себя «животным белком» и многочисленным потомством. Среди богатой растительности острова Шри-Ланка встречаются зеленые «охотники» за насекомыми-опылителями. Мухи, привлекаемые запахом и расцветкой этих растений, попадают в расставленную ловушку из изогнутых волосков, преграждающих выход из «коварного» цветка. Пытаясь выбраться на свободу, пленники опыляют цветоносы,

а затем «засовы» отпираются, и насекомые «уносят ноги».

Уникальный животный и растительный мир собрала природа в Южной Америке. Многие, вероятно, помнят, что именно в дебрях этого континента нашли герои романа А. Конан Дойла «Затерянный мир». Впрочем не будем пересказывать этот увлекательный роман. Хотя бы потому, что в глубинах этого материка до сих пор существуют свои «затерянные миры». Это — труднодоступные неизведанные плато в джунглях. Там, естественно, нет ни динозавров, ни их следов, но существуют уникальная флора и фауна. Они сохраняются на плато с незапамятных времен: никем не тронутые, не потревоженные.

В литературе нет упоминания о том, кто первым придумал липкие ленты от мух. Поэтому приоритет следует сохранить за насекомоядными растениями. Клейкие ловушки применяет один из видов растений, произрастающих на Пиренейском полуострове (Португалия, юго-запад Испании) и на Африканском континенте (западное Марокко). Растение встречается в сравнительно сухих местах, чем, впрочем, и отличается от остальных насекомоядных растений. Например, от центральноевропейских видов из семейства росянковых (они преимущественно селятся на болотах) или подобных им обитателей сырых лугов и влажных тропических лесов.

Представьте себе куст почти метровой высоты с шиловидными листьями длиной 30 см (чем не липкая лента?). На листьях рядами расположены сидящие на ножках желёзки. Они выделяют капли слизи. Между ними расположены желёзки без ножек. Эти вырабатывают особые сильнодействующие ферменты, которые превращают жертву в раствор. Сами же желёзки всасывают этот питательный бульон, питая им растение.

Узкие листья этого растения издавна использовались жителями Пиренеев как... мухоловки. И надо прямо сказать, порой с бо́льшим эффектом, чем липучки фабричного производства. В теплице на одном таком растении насчитали более 230 мух, пойманных в течение дня.

Интересно, что даже насекомое массой 0,0008 мг вызывает ответную реакцию насекомоядного растения. Предполагают, что ответная реакция возникает не

столько из-за давления насекомого на лист, сколько из-за химического раздражения.

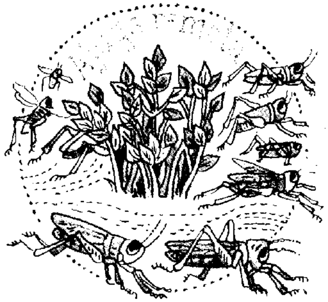
Во время проведения опытов насекомых заменяли маленькими кусочками мяса или сыра, которые поедались растением. Зато на хлебные крошки такой же массы оно никак не реагировало.

Способов пленения насекомых много, но во всех случаях действует одно правило: ловушкой плотоядного растения никогда не бывает цветок. Как правило, добычу захватывают листья. Их форма может быть самой разнообразной. Например, описывались растения, ловушки которых напоминали голову змеи. Такой вид можно встретить в США, в штатах Калифорния и Орегон. Есть ловушки в виде сосуда со скользкими краями. Насекомые соскальзывают в нее, как с ледяной горки. Существуют ловушки, похожие на раковины. Створки их захлопываются мгновенно, как у моллюска.

Наблюдая за процессами ловли насекомых растениями, начинаешь понимать, почему на страницах фантастических романов о путешествиях на далекие планеты стойкие и смелые космонавты-разведчики борются с коварными зарослями инопланетных растений, ошибочно принимающими космонавтов и их несъедобные скафандры за представителей... съедобной местной фауны.

ОПАСНЫЕ СВЯЗИ

Представьте себе освещенную косыми лучами солнца тучу, которая достигает пяти километров в длину и двух — в ширину. Колыхаясь словно огромный занавес, сжимаясь и расширяясь, она движется над одной из африканских стран в метрах трехстах от земли со скоростью товарного поезда. С правой стороны от тучи несется по земле ее черная тень. И словно предчувствуя беду, как перед солнечным затмением, беспокоятся, мечутся, не находят себе места животные: несутся галопом и громко ржут лошади, мычат коровы, забиваются в укрытия и повизгивают от страха собаки. А туча, растянувшаяся вдаль насколько хватает глаз, начинает медленно опускаться вниз, словно скользя по наклонной плоскости. Живая туча — саранча. Кажется, что сам воздух заполнился вокруг чудовищной дробью миллионов барабанчиков ярко-розовых насеко-



мых. Там, где приземлилась саранча, уже не видно зелени полей, лугов, садов. Землю словно укутал яркий шевелящийся ковер, и как розовые призраки поднимаются над ним лишенные зелени кусты и деревья, согнувшиеся под тяжестью чудовищных живых гроздьев.

Считалось, что ни одно растение, попавшее в зону деятельности саранчовой тучи, не избежит гибели. Но вот сравнительно недавно исследователи, работавшие в Кении, обнаружили, что после опустошающих набегов полчищ саранчи из всей растительности саванны выживал единственный вид — дубровка Ajuga remota. Случайное событие или открытие? Энтомологи не отвернулись от обнаруженного факта, не прошли мимо. Оказалось, что всеядная саранча обходит это растение, подобно тому как птицы почти безошибочно отличают съедобных насекомых от ядовитых и не трогают не только последних, но и тех, которые, используя мимикрию, маскируются под них.

Из дубровки Ajuga remota приготовили экстракты и стали кормить ими насекомых. В результате их развитие протекало ненормально. Оказалось, например, что из личинки травяной совки, если она питалась экстрактом, развивалась химера — аномальная куколка с тремя «головами». При метаморфозе личинки в куколку, по данным исследователей, образовывалась не одна, а несколько головных капсул. Лишние головные капсулы закрывали ротовой аппарат, так что личинка не могла есть и гибла от голода.

Ни зубов, ни рогов, ни копыт! Но растение защищалось, и небезуспешно, с помощью химических соединений, которые нарушали процесс превращения личинки в куколку. Эти вещества растения имитируют гормоны личинки.

В какой-то период развития дубровки Ajuga remota природа пошла по пути, которым впоследствии воспользовались энтомологи и химики, специалисты по защите растений, создавая синтетические аналоги феромонов.

Имитация гормонов насекомых-вредителей — один из сложных способов защиты, которые встречаются у растений. О существовании гормонов у насекомых было известно давно, но при работе с насекомыми из-за их малых размеров требовалось поистине ювелирное хирургическое мастерство. Например, приходилось соединять кровеносные системы двух личинок (нимф) кровососущего клопа тонким стеклянным капилляром. Энтомологам пришлось разработать немало остроумных приспособлений и методов исследований. С их помощью удалось установить, что у насекомых, как и у млекопитающих, многие процессы связаны с гормональной регуляцией: обмен веществ, размножение, пищеварение. Кроме того, у многих насекомых «под контролем» гормонов находится процесс, который отсутствует у млекопитающих. Это — метаморфоз. Метаморфоз — один из первых процессов, зависимость которого от гормонального контроля была указана.

Был обнаружен и выделен гормон линьки — экдизон. Оказалось, что некоторые растения вырабатывают его аналоги. С их помощью воздействуют на гормональную систему шестиногих. В настоящее время, как установили сотрудники Института химии растительных веществ АН УзССР, известно около 50 экдизонов, составляющих самостоятельную группу природных соединений — полиоксистероидов. В зависимости от количества углеродных атомов экдизоны разделяют на три группы: C_{27}, C_{28}, C_{29}, в зависимости от источника выделения их называют зоо- или фитоэкдизонами.

Содержание экдизонов в растениях от 0,01 до 0,1% в пересчете на сухой вес. Эти цифры на несколько порядков превышают концентрацию экдизонов, выявленных у насекомых. Так, в Японии на содержание веществ, действующих подобно экдизону, проверено 1056 видов высших растений, 40 из них содержали активные вещества. В Голландии из 120 кг веток тисса получено около 10 г активного вещества. Это в 5000 раз больше, чем у куколок шелковичных червей, из которых в свое время было получено несколько миллиграммов данного гормона. Содержание экдизонов неодинаково в различных частях растения. Например, в соцветиях дикорастущей серпухи, листьях,

в стеблях они были найдены, в корнях — отсутствовали.

Необходимо отметить, что до настоящего времени роль фитоэкдизонов в растениях почти не изучена. Известно только, что эти вещества выполняют защитную роль по отношению к растительноядным насекомым.

Изучение фитоэкдизонов начинают с установления гормонально-личиночной активности сырых экстрактов из растения. Затем из сырых экстрактов различными методами (хроматография на колонках с ионообменной смолой) выделяют суммарную фракцию экдизонов, разделяемую далее на индивидуальные компоненты.

Проведены исследования по практическому использованию экдизонов в качестве пестицидов. Они вызывают гибель личинок рисовой огневки, уничтожают гусениц капустной белянки и мучных хрущаков, высокоэффективны в борьбе с комнатными мухами.

«АХ, КАРТОШКА — ОБЪЕДЕНЬЕ!»

Была такая популярная песня у пионеров 30...40-х годов: «Ах, картошка — объеденье, пионеров идеал. Тот не знает наслажденья, кто картошки не едал». Естественно, речь идет о культурном картофеле, но он, к сожалению, «неженка»: подвержен вирусным заболеваниям и другим болезням, чувствителен к многочисленным насекомым-вредителям. Иное дело — дикий картофель. Он устойчив ко многим из них. Исследователи, работающие на Ротемстедской опытной станции (Великобритания) задались вопросом: что обеспечивает его устойчивость? Стебель и листья у дикого картофеля покрыты крошечными железистыми волосками двух типов; ранее полагали, что с помощью этих волосков и их липких выделений растение просто механически обезвреживает вредителей, в частности тлей. Оказалось, однако, что способ, которым дикий картофель борется с тлями, более изощрен. Волоски одного типа выделяют углевод, который у тлей является основным компонентом феромона, выполняющего роль сигнала опасности. Получается, что растения как бы маскируются химически под тлю, предупреждающую сородичей о необходимости держаться подальше. В спиртовом экстракте листьев дикого картофеля был обнаружен «фальшивый» феромон. Оказалось, что среди тех углеводов, которые содержатся в экстракте листьев дикого картофеля, но отсутствуют в экстракте из культурного картофеля, один представляет собой феромон тлей. Он содержится в липких капельках на кончиках волосков. Для того чтобы показать, что вещество достаточно летуче и может воздействовать на тлей, исследователи собрали воздух над неповрежденными листьями, пропустили его через растворитель пентан и измерили количество феромона, растворившегося в пентане. Из 20 мл воздуха было получено около $5 \cdot 10^{-8}$ г феромона. В такой концентрации он уже вызывал у тлей соответствующую реакцию. Сотрудники лаборатории в Ротемстеде показали это в прямом эксперименте. Листья дикого картофеля положили в шприц и сделали так, чтобы воздух из него выходил на расстоянии 1 см от колонии бескрылых тлей. Тли разбежались, продемонстрировав такое же поведение, как и в присутствии настоящего феромона. Воздух из пустого шприца или шприца, наполненного листьями культурного картофеля, этого эффекта не имел.

Если бы удалось скрестить дикий картофель с культурным картофелем и передать последнему способность секретировать феромон, то это помогло бы уменьшить потери урожая картофеля из-за тлей, которые высасывают из растений сок, а также, что еще важнее, из-за вирусов, которых разносят эти насекомые.

ОБЩЕСТВО «ВЗАИМНЫХ УСЛУГ»

Удивительные примеры симбиоза являет нам природа. Как на суше, так и в водной среде.

Пока еще не получившее аргументированное объяснение сожительство наблюдается и у некоторых «ловчих растений» и насекомых. Выгода такого симбиоза для насекомых очевидна. Они используют

пойманных растением других насекомых в пищу. Но вот какой прок от этого растению? Ведь симбиоз, или сожительство, предполагает обоюдную пользу. Ответа пока нет...

Вот как протекает «охота за насекомыми» в природе. В Австралии произрастают два вида полукустарников, на которых обитают насекомые-симбионты. Полукустарники имеют узкие листья и стебли, усеянные железками. Как и у пиренейских растений-липучек, на листьях австралийских насекомоядных имеются желёзки, сидящие на ножках, и желёзки, которые ножек не имеют. Желёзки выделяют густую и клейкую слизь. К ней прилипают многие мелкие насекомые, но перевариваются ли они растением, не известно. Известно другое: прилипших насекомых поедают многочисленные мелкие клопы, которые живут на листьях-липучках. Каково же предназначение клопов в этом симбиозе? Ученые предполагают, что эти насекомые с помощью сигналов химической природы пользуются растением как «ловчей сетью».

Австралийский полукустарник не оригинален, и подобный ему, — то ли «вегетарианец», то ли «мясоед» — обитает на другом континенте в Южной Африке.

Это кустарник, высотой до 1 м, листья которого усажены железистыми волосками, выделяющими вязкое вещество. Попавшие в слизь насекомые погибают и служат, по-видимому, пищей для одного из видов пауков.

ОБМАНУТЫЙ МУРАВЕЙ

В настоящее время муравьи на планете при всем их многообразии представлены одним семейством. Часть видов является общественными насекомыми, часть — может быть отнесена к социальным паразитам других видов муравьев. Однако в меловой период — 70...135 млн. лет назад, когда появились первые цветковые растения и еще жили последние динозавры, существовали близкие к муравьям семейства, представители которых вели одиночный образ жизни.

Интересный диалог можно наблюдать в природе между растениями и муравьями. Симбиоз между южноамериканскими муравьями-ацтеками и некоторыми

видами деревьев, например цекропиями, приносит пользу как тем, так и другим. Муравьи находят у цекропии и стол, и дом, питаясь, без вреда для дерева, миллиметровыми выростами, которые образуются у основания каждого листового черешка. В полых наподобие бамбука стволах цекропий муравьи-ацтеки устраивают свои гнезда и «пасут» тлей. В свою очередь, муравьи защищают дерево от других растений — эпифитов. Это слово греческого происхождения и означает растение, которое растет на растении. Расселяют эпифиты по тропическому лесу ветер и птицы, но в отличие от паразитирующих растений эпифиты «не тянут соки» у приютившего их дерева-хозяина. Они лишь используют возможность занять в прямом смысле место под солнцем, развиваться в верхнем хорошо освещенном ярусе тропического леса. Вроде бы ничем не могут грозить дереву эпифиты. Но дело в том, что у цекропии древесина хрупкая, ветви непрочные и могут легко обломиться под тяжестью пришельцев. Муравьи словно верная стража, как надежные телохранители набрасываются на посторонние растения и в буквальном смысле растаскивают их, отрывая мелкие кусочки до тех пор, пока от эпифитов ничего не останется. Эти насекомые собираются в большие отряды и выступают против других врагов дерева-хозяина. Они нападают на насекомых и даже на мелких млекопитающих, которые могут, будучи растительноядными, нанести дереву вред. Нападают полчища муравьев и на человека, «посягнувшего» на их владения.

Известно, что укусы муравьев очень болезненны из-за того, что насекомые применяют «химическое оружие». Им природа наделила весь муравьиный род. Вместе с осами и пчелами по этому признаку их часто объединяют под общим названием — жалящие перепончатокрылые. Половину брюшка муравья занимает железа, производящая «муравьиные отравляющие вещества». Эта ядовитая железа окружена мускульным мешком и при сокращении его яд, состоящий в основном из муравьиной кислоты, выбрасывается чуть ли не на полметра — на расстояние, почти в 500 раз превышающее длину тела муравья.

Муравьиная кислота почти в десять раз сильнее всех остальных карбоновых кислот. Из-за этого она

оказывает раздражающее действие на живые ткани. Когда рыжий муравей кусает человека, он при этом выпускает в ранку капельку муравьиной кислоты. Поэтому его укусы так болезненны. Для насекомых муравьиная кислота — сильный яд, и когда полчища муравьев идут в наступление, защищая свою цекропию или другое растение, то другим шестиногим не до сравнения силы органических и неорганических кислот. Им самое время покинуть поле боя.

Однако, несмотря на то что симбиоз между муравьями и растениями скреплен веками сожительства, насекомые-вредители все же добираются до зеленых друзей маленьких тружеников и наносят им вред. Так, гусеницы некоторых бабочек-голубянок все-таки питаются листьями макаранги, которую «сберегают» муравьи. Обман удается благодаря крайне привлекательному для этих общественных насекомых секрету, который выделяют гусеницы. Поэтому обитатели муравейников не трогают их и позволяют им объедать листья макаранги. Сами же гусеницы извлекают из этого не очень выгодного для растения союза еще одну пользу для себя. Ведь муравьи прогоняют хищных и паразитических насекомых, которые могли бы уничтожить самих гусениц.

Зеленые обитатели нашей планеты защищаются не только химическими средствами и при помощи симбиоза с муравьями.

Растения рода страстоцвет часто страдают от гусениц бабочки геликониус, которые объедают листья. Прежде чем выбрать растение, подходящее для откладывания в него яиц, бабочки порхают над ним, постукивая усиками-«антеннами» по листьям, словно врач, выслушивающий больного. Затем насекомые садятся на избранный лист и начинают барабанить по нему передними лапками, снабженными хеморецепторами. Если в результате такого выстукивания бабочка обнаружит, что в данный лист уже отложены яйца особи ее же вида, то она полетит на поиски другого

листа. Энтомологи обнаружили, что по меньшей мере у одного из видов страстоцвета на многих листьях встречаются небольшие вздутия, которые и по размеру, цвету и форме очень напоминают яйца бабочки геликониус. Самки геликониус садились на эти растения, и, обманутые фальшивыми яйцами, улетали в поисках незанятых листьев.

ЗАЩИТНЫЕ ЯДЫ РАСТЕНИЙ

Миллионы лет складывались удивительные взаимоотношения в живой природе. В результате длительной эволюции растения постепенно совершенствовали оружие самозащиты, а насекомые «изобретали» новые средства нападения. Под натиском полчищ летающих и ползающих «обжор» облачились в крепкий панцирь листья и стебли, появились колючие волоски на различных органах растений. Арсенал химического оружия пополнялся ядовитыми и отпугивающими веществами, действующими на насекомых через рецепторы вкуса и обоняния.

Выдающийся русский ученый, лауреат Нобелевской премии И. И. Мечников рассматривал эти свойства растений как проявление приспособительных ответных реакций, которые возникли и развивались в процессе эволюции живой природы. Еще более 70 лет назад он высказал предположение: «Растения защищаются своими устойчивыми оболочками и выделениями». Однако прошло много лет, прежде чем ученые смогли выяснить механизм действия химической защиты растений и подтвердить правильность гипотезы великого биолога.

Характерная черта настоящего ученого — постоянный научный поиск. Рабочий день его не ограничивается временем, проведенным в лаборатории. Не только за микроскопом и приборами, но и в обыденной жизни пытливый ум научного работника постоянно подмечает явления природы, анализируя их и связывая с исследуемой проблемой. Ученый — не только подвижник науки, но прежде всего добрый, отзывчивый, простой в обращении человек, интересный собеседник, умеющий внимательно выслушать чужое мнение.

Всеми вышеперечисленными достоинствами обла-

дал замечательный ученый-эмбриолог, лауреат Государственной премии СССР, Герой Социалистического Труда профессор Б. П. Токин — создатель фитонцидной теории.

После многолетнего планомерного изучения летучих соединений высших растений он доказал, что многие из них способны выделять летучие вещества, обладающие антибиотическими свойствами. Эти вещества ученый назвал фитонцидами (fito — по-гречески «растение», cido — по латыни «убиваю»).

Природа их действия разнообразна: они способны тормозить развитие и убивать бактерии, простейших и микроскопические грибы, отпугивать насекомых-вредителей.

Для примера приведем описание одного эксперимента, проведенного ученым. (Этот несложный опыт доступен для проверки и членам кружка юных биологов.) Измельченные листья или другие органы, например черемухи, помещают на дно стеклянной банки, в которую впускают несколько экземпляров комнатных мух, комаров, мошек. Летучие вещества убьют их в течение нескольких секунд. Однако не всегда. Порой насекомые гибнут в несколько десятков раз медленнее — не за 30 секунд, а в течение 3...5 минут. Можно убедиться, что фитонциды различных органов одного и того же растения обладают неодинаковой активностью. Так, летучие вещества из лепестков цветков черемухи оказались менее активными, чем из листьев. Близкородственные виды растений, различные сорта одного и того же вида также обладают различной активностью против шестиногих.

Время гибели этих мелких насекомых от фитонцидов разных растений при одних и тех же условиях опыта неодинакова. Но эффект всегда однозначен: насекомые гибнут от летучих выделений растений.

Известный советский ботаник Б. М. Козо-Полянский писал, что летучие вещества — это, образно говоря, первая линия обороны растений, соки — вторая. Фитонциды выделяются надземными частями растений в

атмосферу, подземными — в почву. Однако фитонцидная активность растительных организмов неодинакова в разные периоды их жизни. Она самым тесным образом связана с развитием растения, сезонами и стадиями вегетации, а также с физиологическим состоянием растения.

Для примера присмотримся к деятельности жуков семейства короедов — наиболее опасных врагов хвойных деревьев. Эти насекомые никогда не нападают на здоровые деревья, даже механически поврежденные. Объект их атаки — больные, пораженные растения. Что же помогает жукам безошибочно отыскать в лесу ослабленные деревья, отличить их от здоровых?

Вот зашевелились булавовидные усики-«антенны» насекомого. Они уловили ничтожное количество «молекул бедствия», выделяемых ослабленным деревом. Теперь — вперед! Курс вредителю безошибочно указывает своеобразный запах хвойных. Усики короеда, эти уникальные «запаховые локаторы», точно определяют местонахождение цели.

Советскими, финскими и французскими учеными установлено, что в состав выделений хвойных деревьев, привлекающих вредителей, входит целый ряд соединений. Ими оказались фракции эфирных масел еловых и сосновых деревьев (альфа- и бета-пинены, камфен, лимонен).

Об интересном эксперименте сообщили участники совещания по фитонцидам, проходившего в Киеве в октябре 1979 г. Ученые поставили перед собой задачу — выяснить природу химических сигналов, которые определяют поведение и ориентацию насекомых при выборе растений для питания, продолжения рода и заселения. Изучались терпены, содержащиеся в хвое сосны обыкновенной, и их влияние на важнейших вредителей — звездчатого пилильщика-ткача, красноголового, рыжего и обыкновенного соснового пилильщиков. Было установлено, что эти соединения отпугивают жуков от здоровых деревьев и привлекают их к поврежденным.

В мудрой и поэтической сказке «Маленький принц» французского писателя Антуана де Сент-Экзюпери один из героев восклицает: «Нет в мире совершенства!» К сожалению, то же можно сказать, разбирая взаимоотношения между насекомыми-вредителями и

хвойными деревьями. Фитонциды могут защищать последних от одних вредителей и одновременно служить пищевыми аттрактантами для других.

ЛЮБИТ... НЕ ЛЮБИТ...

Различные растения — эфирномасличные и хвойные, лекарственные и злаковые, экзотические и декоративные — служат для насекомых и их потомства источником разнообразных химических веществ, необходимых для их нормальной жизнедеятельности. Например, семейство крестоцветных снабжает бабочек-белянок изотиоцианатами. Пчелы-«работницы», обнаружив цветки клевера, получают вместе с пыльцой октадекатриеновую кислоту. Важным питательным веществом для насекомых служит холестерин — фактор роста и сахара растений. Например, гусениц капустной моли — опасного вредителя крестоцветных, привлекают листья, содержащие гликозид синигрин. Непременное условие для такой пищевой реакции этих насекомых — присутствие глюкозы.

Плодовых мушек манят запахи портящихся плодов, а также различных вин. Как выяснили ученые, этих мелких насекомых соблазняют не сами груши или виноград, а вещества, образующиеся при брожении.

Растения семейства зонтичных выделяют метилхавикол и карвон. Эти соединения служат приманкой для листогрызущих гусениц махаона, которые с таким же аппетитом съедят и кусок бумаги, если на нее нанести «вкусные» молекулы.

Однако чаще растительные организмы синтезируют пахучие вещества для защиты от непрошеных гостей.

Насекомым приходится «считаться» с этим и «обходить стороной» опасные растения. Как говорится, «видит око, да зуб неймет». Самые разнообразные химические средства защиты можно встретить в растительном мире. Ячмень «держит на расстоянии» злаковую тлю, выделяя фенолы и флавоноиды. Хлопчатник имеет свое

химическое оружие — госсипол и другие вещества аналогичной природы.

Самый надежный страж растительного мира — вещества, обладающие инсектицидным действием.

Растительные инсектициды издавна использовались в народной практике для отпугивания вредителей. В Новгородской и Тверской губерниях, например, крестьяне раскладывали вокруг полей ветки черемухи, запах которой отпугивал бабочек озимой совки; семена перед посевом смачивали крепким отваром веток или окуривали дымом сожженных сучьев черемухи, что защищало их от повреждений почвенными вредителями. Самарские крестьяне при посеве добавляли в горох коноплю, запах которой не переносит гороховая тля, а в Киевской и Подольской губерниях коноплю высевали по краям свекловичных полей для защиты их от свекловичных блошек. Впрочем, и в наши дни для этих целей рекомендуется использовать в садах и огородах свыше 15 видов широко распространенных в нашей стране растений. Так, садоводы советуют опрыскивать крыжовник, смородину и яблони настоем полыни, что отгоняет от них бабочек огневки и яблонной плодожорки.

Внесение в почву конопляной половы очищает ее от личинок хрущей, а посев конопли под плодовыми деревьями защищает сады от бабочек многих вредителей.

Растения, регулируя количество одного и того же выделяемого химического соединения, могут не только отпугивать, но и привлекать своих ползающих и летающих врагов. Так, концентрация терпенов, синтезируемых дугласовой пихтой, определяет «симпатии» или «антипатии» шестиногих к этому растению. Прав был Парацельс (врач и естествоиспытатель,

1493—1541 гг.), когда писал, что вещество может быть лекарством или ядом, все решает дозировка.

Кроме привлекающих и отпугивающих молекул растения вырабатывают целый ряд соединений, которые определяют разнообразные поведенческие реакции в мире насекомых. Листья дуба, например, выделяя гексаналь, способствуют образованию половых феромонов у бабочек. Если растение выделяет мало этих молекул, самочка привлекает самцов, а если вещества много — готовится к откладке яиц. Заботясь о благоприятных условиях для потомства, капустная моль ориентируется на листья, содержащие горчичное масло, которое ускоряет развитие яиц у взрослых самочек этого вида насекомых.

НУ, ДЕРЕВО, БЕРЕГИСЬ!

В хвойных лесах североамериканского континента широко распространено дерево псевдотсуга Дугласа, достигающее почти стометровой высоты. И вот этого гиганта растительного мира может свалить небольшой жучок длиной менее 1 см — враг номер один — псевдотсуговый лубоед. Вот уж, поистине, если пользоваться «библейской» терминологией, — Голиаф растительного мира, поверженный Давидом — животного царства. Вот как описывают нападение лубоеда на деревья энтомологи. В первые теплые дни апреля лубоеды покидают деревья, где они провели зиму, и разлетаются на поиски новых мест обитания. Обычно жуки выбирают деревья либо пораженные ветром, либо засухой или болезнью. Отыскав ослабленное дерево, насекомые устремляются в атаку, которая поражает быстротой и отличной организованностью. В один день тысячи жуков внедряются в кору облюбованного ими дерева и полностью выводят из строя систему его химической защиты. Самка лубоеда проделывает во внутренней части коры тоннель — маточный ход. В нишах по обе стороны тоннеля после встречи с самцом самка откладывает яйца. Из них вылупляются личинки, которые после линьки превращаются в куколок, а последние — во взрослых жуков. Насекомые покидают древесную кору, вылезая на поверхность через искусно просверленные выходные отверстия, и уже самостоятельно отправляются на поиски «жертв».

Выбор объекта для совместного нападения, взаимоотношения самца и самки, плотность популяции жуков на дереве регулируются химическими и акустическими сигналами, которые подаются в определенных комбинациях и последовательности. По-видимому, такое «общение» между жуками происходит в определенное время, синхронизированное с ходом их «биологических часов».

Во время исследований способов коммуникации псевдотсугового лубоеда выяснилась удивительная особенность: оказалось, что одно и то же вещество может вызывать у жука несколько различных реакций.

Речь идет о метилциклогесиноне (МЦГ), обладающем свойствами феромона. Реакция на этот феромон в смеси разных веществ может проявляться поразному: жуки скапливаются на коре дерева или, наоборот, отказываются сближаться друг с другом. В ответ на действие МЦГ жук-самец может атаковать другого самца или же, напротив, начать ухаживать за самкой. Какая реакция возобладает, зависит от концентрации феромона и обстоятельств, при которых он выделяется. Расшифровка этих сигнальных механизмов могла бы принести большую пользу и помочь разработать способы снижения экономического ущерба от лубоеда. По сравнению с более чем 300 тыс. видов жуков, описанных в настоящее время энтомологами, лубоед изучен довольно хорошо, но его феромонная активность еще представляет Terra incognito, неизведанную землю для ученых. Интересно, что лубоед не только сам вредит дереву, на котором поселился, но и в прямом смысле «открывает ворота» другому врагу псевдотсуги — грибку синевы древесины. Самка жука переносит на своем теле грибницу, которая заражает древесину, прорастая в водопроводящих каналах дерева. Подобно коррозионному наросту в водопроводных трубах, грибок сужает отверстия каналов, а со врменем и полностью закупоривает их. Вот тут-то происходит ослабление, а то и полное разрушение химической защиты растения.

Смола — это одно из основных средств химической защиты у псевдотсуги Дугласа. Когда она заполняет проделанный самкой лубоеда ход, жуки погибают, захлебнувшись в клейкой массе.

Водопроводящие каналы дерева (трахеиды) расположены в древесине вертикально и при нормальных условиях с их помощью создается давление, необходимое для перекачки смолы по смоляным каналам, расходящимся горизонтально от центра ствола. Но если регуляция давления в трахеидах нарушается, смола не может попасть в маточные ходы лубоеда. Таким образом, псевдотсуга гибнет в результате совместной деятельности двух организмов: жук уничтожает флоэму, по которой осуществляется транспорт питательных веществ, а грибок — блокирует водопроводящую систему, обезвреживая защитные приспособления дерева.

НЕВОЛЬНЫЕ СОУЧАСТНИКИ

Пограничники разгадали немало хитроумных способов, с помощью которых шпионы и диверсанты пытаются преодолеть контрольную полосу границы и уйти подальше, рассчитывая либо затеряться в толпе на узловой железнодорожной станции, либо на время затаиться в большом городе. Какие только приемы ни применялись для того, чтобы преодолеть контрольную полосу: обувь, которая имитировала следы диких животных, ходули, прыгающие аппараты и даже небольшие воздушные шары. Один из опробованных способов заключался в следующем: диверсант перебирался через контрольную полосу верхом на своем партнере. Сообщник затем переходил обратно через границу и его следы оставались на контрольной полосе, а в глубь страны уходил настоящий шпион. Правда, в жизни и этот способ не выручал диверсантов. Пограничники были всегда начеку.

Нечто похожее наблюдается и в живой природе (пример с псевдотсугой и грибками, заразившими ее, которых приносили в растение лубоеды). Подобные случаи не единичны в мире растений.

Голландия славится своим цветоводством. Для голландцев — это крупная отрасль хозяйства. На большие цветочные аукционы съезжаются

сотни любителей, скупщиков и торговцев цветами. Соревнуясь друг с другом, они приобретают кто одну-две, а кто целую партию луковиц тюльпанов, нарциссов или гладиолусов. Не меньшим спросом пользуются на аукционе и цветы, идущие на срезку, — розы, гвоздики, хризантемы, а также горшечные растения — цикламены, бегонии, азалии. Так повелось в Голландии издавна. Поэтому ботаник в этой стране фигура уважаемая. Болезни растений, если их вовремя не обнаружить, — прямой убыток для цветоводов, а то и полное разорение. К словам ученых-ботаников, к их советам здесь относятся со вниманием.

Однако не только цветоводы-практики, но и ученые мужи с сомнением качали головами, узнав, что такой уважаемый человек, как де Фриз — ботаник и генетик, изучая «эпидемию позеленения» растений в своем саду в Амстердаме, предположил, что причина ее — инфекционный материал, который переносят летающие насекомые. Это предположение было слишком необычно для конца XIX века, и, кроме того, де Фризу не удалось доказать свою правоту. Его наблюдения и заключения остались тогда непонятыми и не были приняты.

В действительности большое количество микробов и вирусов, вызывающих болезни растений, при всем разнообразии способов передачи инфекции переносится насекомыми.

Сейчас известно свыше 40 видов цикадок — переносчиков вирусных заболеваний пшеницы, риса и других растений. Эти насекомые — основные носители возбудителей микоплазменных заболеваний, желтухи астр, позеленения цветкового клевера, карликовости шелковицы и многих других. И все же наиболее широк спектр вирусов, передаваемых тлями. Сейчас известно свыше 200 видов тлей, способных переносить фитопатогенные вирусы. Своего рода рекордсмен среди этих насекомых — персиковая тля. Из 160 вирусов, распространяемых всеми видами тлей, она способна переносить более 60. Вирусы могут передавать также жуки (желтая крапчатость риса), клопы (курчавость и скручивание листьев сахарной свеклы), щитовки (вирус деформации побегов дерева какао), хлебные блохи. Были получены сведения о передаче возбудителя реверсии (махровости черной смородины)

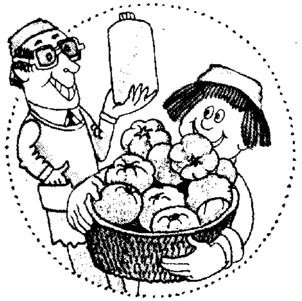
галловым клещом. Доказано, что клещами переносятся также некоторые вирусы, вызывающие болезни злаковых (полосатая и пятнистая мозаики пшеницы), плодовых (мозаики персика, инжира), декоративных (розеточность розы) и бобовых (стерильность кайянуса) растений.

Как защититься от этой невидимой рати вирусов и микроорганизмов? Конечно, с помощью испытанных «воинов» — фитонцидов.

Учеными были поставлены тысячи опытов, в которых изучались фитонцидные вещества из конопли, чистотела, кубышки желтой, копытня, очитка едкого, молочая, дрока, белладонны, чеснока и лука. Фитонциды этих растений оказывали на бактерии, болезнетворные для растений, то же действие, что и антибиотики в медицине. Например, вещества, содержащиеся в кубышке желтой, даже при разведении препарата из них в миллионы раз, подавляли рост вредных для растений бактерий.

Проводились опыты с предпосевной обработкой семян капусты и помидоров фитонцидными препаратами. Использовались аренарин — фитонцид из бессмертника песчаного, иманин и новоиманин, полученные из зверобоя пронзеннолистного, и еще три десятка других препаратов из растений, обладающих фитонцидной активностью. Например, аренарин успешно подавлял рост и развитие коринебактерий — возбудителей болезни, называемой раком помидоров. Даже в разведении $1:10^6$ препарат оказался активным против этих врагов растений.

В ходе опытов выяснилась еще одна подробность. Впоследствии этот эффект быт отмечен и при обработке семян рядом других фитонцидных препаратов. Семена, обработанные аренарином, прорастали уже на вторые сутки после посева, в 3...4 раза быстрее, чем в контроле. Аренарин вошел в число фитонцидных препаратов, которые стимулируют рост и развитие растений. В результате предпосевной обработки семян помидоров аренарином



снижалось количество растений, пораженных бактериальным раком, черной пятнистостью, мокрой, вершинной гнилью, а также вирусными болезнями — мозаикой, столбуром и бронзовостью помидоров. Успешно применялся препарат в опытах с клевером, люцерной, фасолью, сахарной свеклой и другими растениями.

Повествование о диалоге двух царств природы можно продолжить, поскольку исследователи постоянно получают новую информацию. Эти сведения составляют важное звено в цепи фактов, которые позволят окончательно раскрыть тайну химического языка насекомых. Ведь чтобы расшифровать его, необходимо тщательно изучить все, что так или иначе влияет на жизнедеятельность шестиногих обитателей нашей планеты и прежде всего их взаимоотношения с миром растений. Полученные данные, несомненно, дадут новый импульс развитию науки и инженерно-технической мысли, а также помогут найти новые нестандартные пути к решению многих насущных проблем, стоящих перед человечеством. О том, как это осуществляется на практике, будет рассказано в следующей главе.

ТАЙНЫ МОЛЕКУЛ

СЛЕДСТВИЕ ВЕДУТ ЗНАТОКИ

В течение 20 веков под страхом пыток и смерти охраняли китайцы секреты производства шелка. И только в IV в., если верить преданию, китайская принцесса подарила своему мужу — бухарскому эмиру — яйца тутового шелкопряда. Этот бесценный дар, вывезенный из Китая в прическе женщины, положил начало развитию шелководства во многих странах Азии и Европы.

В XX в. тутовый шелкопряд опять заставил заговорить о себе. В 30-х годах, в одной из лабораторий Геттингенского университета А. Бутенандт, ученик известного А. Виндауса, был поглощен изучением половых гормонов, которые осуществляют важную регуляторную функцию в человеческом организме. Для выделения 15 мг одного из этих «регуляторов» — андростерона ученый переработал более 15 тыс. литров мочи, а для получения 20 мг чистого прогестерона потребовалось «сырье» от 50 тыс. свиней. Благодаря специальным методам анализа удалось установить строение этих веществ и синтезировать искусственные гормоны. За эти открытия немецкому химику А. Бутенандту была присуждена Нобелевская премия.

Казалось бы, какая может быть связь между историей с яйцами тутового шелкопряда и химией XX в.? Однако обстоятельства сложились так, что именно этому насекомому и работам профессора А. Бутенандта были посвящены первые страницы научных публикаций о проникновении человека в тайны химического языка мира шестиногих. Конечно, не искусство насекомых-ткачей, а возможность вырастить необходимое количество особей данного вида и неукротимая страсть к исследованиям позволили ученому испытать радость еще одного открытия.

Часто довольно странная судьба ожидает научные достижения в различных областях знаний. Успех немецкого химика — лишнее доказательство, что потребности практической жизни людей определяют бурное развитие той или иной науки. Когда пытливый человеческий ум в поисках нового оружия борьбы с насекомыми-вредителями обратил внимание на их химический язык, многие химики стали профессорами энтомологии.

Давайте совершим небольшое путешествие в «мастерскую» исследователей мира молекул и познакомимся с историей расшифровки химических «иероглифов».

«О, доктор Бутенандт, зачем вы тратите столько времени на возню с бабочками?» — раздался чей-то голос из аудитории после того, как ученый сообщил об установлении структуры и проведении синтеза полового феромона тутового шелкопряда. В течение 20 лет шаг за шагом приближался химик к познанию этой тайны. В 1939 году исследователь сделал первую попытку получить таинственное вещество. И если для производства шелковых нитей необходимы самцы шелкопряда, то для извлечения «пахучих» молекул ученому понадобились самки — более 300 тыс. особей. К этому надо добавить миллион коконов, давших жизнь подопытным насекомым, и тогда можно будет представить, сколь сложный материал был в руках исследователя. И все это ради получения нескольких миллиграммов чистого вещества.

Феромон тутового шелкопряда, 12 мг которого ученому удалось получить из тысячи насекомых, был назван бомбиколом. Вещество это представляет собой непредельный спирт, формула которого $C_{16}H_{32}O_2$.

По мнению популярного героя рассказов Конан Дойла, хороший детектив должен распознавать не менее 75 различных запахов. Очень часто приходилось знаменитому Шерлоку Холмсу прибегать к помощи химии. Не одно запутанное преступление раскрыл он, используя не только силу своего аналитического ума, но и знание некоторых методов химического анализа. Химики-аналитики при расшифровке тайн молекул очень часто напоминают детективов с той лишь разницей, что место действия всегда одно — лаборатория. Какими же методами пользуются ученые, проникая в секреты языка шестиногих?

Для ответа на призыв самки и преодоления огромных расстояний самцу насекомых часто достаточно всего одной «молекулы любви». Для химических исследований такого микроскопического количества недостаточно, поэтому возникает вопрос: как накопить исследуемое вещество?

Хорошо известно, что химические соединения легко сорбируются (от латинского sorbeo — поглощаю, втягиваю) пористыми материалами. Это явление можно часто наблюдать в быту. Вспомните, как после долгого хранения зимние вещи пахнут нафталином, а посидев у костра, люди долго ощущают запах дыма, которым пропиталась одежда.

Забавная история произошла однажды с научным сотрудником лаборатории, в которой проводили исследования феромонов. В один из жарких летних дней он, житель южного города, решил отправиться на побережье. Предвкушая все соблазны солнца и моря, исследователь быстро собрал курортный багаж и влился в ряды «паломников». Изрядно намучившийся и разомлевший наш знакомый наконец добрался до конечной цели своего путешествия и, не долго думая, бросился в объятия ласкового моря. Вдоволь насладившись морской прохладой и отвоевав себе участок суши, он скромно устроился на пятачке под солнцем. Зажмурив глаза и предоставив свое тело «жесткому ультрафиолету», ученый попытался забыть все свои проблемы, погружаясь в сладкую дремоту. Но вскоре странные события нарушили его сон. Сначала до сознания исследователя стали долетать неясные возгласы людей, затем голоса стали громче, и наш герой попытался приоткрыть глаза. То, что он увидел, настолько удивило и смутило его, что в первый момент он принял все это за сон. На фоне голубого неба над ним порхало огромное количество бабочек непарного шелкопряда, а вокруг, привлеченные таким «цирковым номером», столпились ошеломленные отдыхающие. Как потом выяснилось, виновником конфуза был портфель, в котором химик часто перевозил различные химические соединения. Перед отпуском хозяин портфеля как раз и занимался изучением феромонов непарного шелкопряда. Таким образом, привлекающие молекулы сначала адсорбировались на стенках портфеля, а затем вызвали появление бабочек.

Для того чтобы поймать молекулы-невидимки, химики применяют различные ловушки — от обыкновенной фильтровальной бумаги до синтетической смолы «паропак». Можно поместить насекомых непосредственно на поглощающую поверхность или продувать током воздуха сосуд с шестиногими пленниками, собирая ловушкой-поглотителем находящиеся в воздушной смеси молекулы-мишени. Такими способами были выделены привлекающие вещества американского таракана, златогузки, мучного хруща и хлопкового долгоносика.

Другой распространенный метод охоты за летучими молекулами — экстракция различными растворителями. В быту мы постоянно имеем дело с экстрактами. Большинство настоев, применяемых в медицине, овощные супы и фруктовые компоты — не что иное, как продукты экстракции биологически активных веществ, используемые для лечения или питания человека. Люди пользуются экстракцией, приготавливая ароматный чай или кофе, удаляя жирное пятно с одежды. Помогает им целый набор химических веществ. Для извлечения пахучих молекул из разных органов и тканей насекомых чаще всего применяют хлористый метилен, гексан или этиловый эфир. Эти растворители довольно летучи и после выполнения своей роли легко удаляются при нагревании. Таким способом ловят «молекулы любви» у большинства

изученных представителей мира насекомых. Скорость расшифровки неизвестного вещества во многом зависит от искусства и опыта химика-аналитика, выбора им растворителя и условий экстракции.

Теперь рассмотрим следующий важный момент поиска таинственных молекул. На лабораторном столе «охотника за молекулами» появилась стеклянная колбочка с экстрактом, в котором, по предположению исследователя, содержится искомое вещество. Как же отыскать в этом «химическом коктейле» нужное соединение, спрятавшееся там, как невидимка в толпе?

Ведь, например, в состав пахучего секрета бабочки репейницы входит большое количество метиловых эфиров алифатических кислот, а также некоторые другие соединения.

Хотя герой фантастического романа Герберта Уэллса человек-невидимка и был уверен в своей неуязвимости, ему все-таки пришлось спасаться от внезапно появившегося врага. Неожиданно из конторы фармацевтического общества выбежала маленькая собачонка, которая, принюхиваясь к земле, начала лаять и преследовать невидимку. Все предвидел герой Уэллса, но того, что нос собаки сможет обнаружить его присутствие, не ожидал. Человек-невидимка очень расстроился: «друг человека» выдавал его с «головы до пят».

Да, не повезло главному герою романа в его злоключениях. Маленькая собачонка смогла учуять невидимого беглеца и стала его главным врагом. А чьим бы «носом» воспользоваться ученым, чтобы обнаружить молекулы феромона в экстракте? К сожалению, орган обоняния человека или собаки здесь не поможет. Но совсем не потому, что насекомые более чувствительны к запаховым молекулам. Просто у каждого живого организма своя индивидуальная способность распознавать разнообразнейшие запахи. Люди, не ощущают многих существующих в окружающем мире летучих веществ. Так природа оберегает органы обоняния человека от излишнего воздействия внешней среды.

В настоящее время для поиска феромонов пользуются двумя основными приемами. Один из них был предложен немецким ученым Д. Шнейдером, который исследовал привлекающие молекулы многих насекомых, в том числе и тутового шелкопряда.

Изучая механизм восприятия различных запахов насекомыми, этот ученый пришел к выводу, что «датчик» присутствия молекул-невидимок — антенна насекомых. Используя этот «нос» в качестве локатора, шестиногие ориентируются в мире «химических слов». Исследователь обнаружил, что при попадании пахучих молекул на «антенну» возникает электрический биопотенциал, который можно наблюдать по отклонению луча на экране осциллографа или записать на бумаге самописцем. Этот интересный и очень необходимый химикам метод назван электроантеннограммой.

Второй метод — изучение поведения насекомых при «дегустировании» различных химических веществ. Впервые его применил известный французский энтомолог Жан-Анри Фабр. Великий натуралист наблюдал за «ночными визитерами» — самцами сатурнии, прилетавшими к самке, находящейся в его кабинете. Вот как описывал Ж. А. Фабр свои впечатления после домашних опытов над одной из красивейших ночных бабочек — павлиньим глазом: «...Нельзя забыть то, что мы увидели. Вокруг колпака с самкой, мягко хлопая крыльями, летают огромные бабочки. Они подлетают и улетают, поднимаются к потолку, опускаются вниз. Кинувшись на свет, они гасят свечу, садятся на наши плечи, цепляются за нашу одежду. Пещера колдуна, в которой вихрем носятся нетопыри. И это — мой кабинет».

Энтомолог отметил, что самцов привлекает тончайший аромат, недоступный нашему обонянию. Запах этот пропитывает всякий предмет, к которому прикасалась самка. Ученый обратил внимание на явление поглощения привлекающего вещества пористыми материалами, например картоном или порошком глины.

В одном из опытов Фабр вокруг садка с самочкой расставил блюдечки с различными пахучими веществами, которые были у него под рукой: керосином, нафталином, лавандой и пахнущим тухлыми яйцами сероуглеродом. В этом наборе были представлены «ароматы» на любой вкус. Но, несмотря на присутствие таких разных неприятных запахов, самцы сатурнии нашли дорогу к самочке. Исследователь был поражен особой чувствительностью обонятельных органов насекомых к молекулам, «ответственным» за встречу особей противоположного пола в мире шестиногих.

Современные исследования энтомологов подтвердили, что половые феромоны воздействуют на самцов, несмотря на большие расстояния и посторонние запахи. Так, самки бабочки-монашенки привлекают самцов с расстояния 200...300 м, айлантовой сатурнии — 2...2,5 км, непарного шелкопряда — 3...4 км, а ночного павлиньего глаза, над которым проводил опыты Фабр, — 8...10 км.

Интересные исследования были проведены с самцами бабочки-глазчатии. Меченых насекомых выпускали через окно движущегося поезда на различном удалении от места, где находилась в садке под марлей самка. Энтомологи подсчитали, что с расстояния 4,1 км на зов самки откликнулись около 40% самцов, а с 11 км — лишь 26%. Как видно, реакция самцов во многом зависит от расстояния до привлекательной самки, скорости ветра и географического расположения местности. Кроме того, существует индивидуальная чувствительность воспринимающих органов насекомых, зависящая от возраста, жизнеспособности, времени суток и других факторов. Поэтому при всем совершенстве электрофизиологических тестов роль того или иного вещества в поведении насекомых может быть определена лишь с помощью оценки их реакций на него в лабораторных или природных условиях. Изучая с помощью фото- и киносъемки ответы насекомых на действие феромонов, ученые смогли установить сложную структуру поведенческих актов этих животных. Сначала шестиногие совершают движения, связанные с переходом их организма в активное состояние. Они начинают поднимать антенны, двигать или чистить их, вибрировать крыльями, поворачиваясь при этом на месте. Такие движения «антеннами» увеличивают вероятность попадания молекул феромонов на рецептор. Затем насекомые двигаются в струе феромона против ветра. На траекторию полета оказывает влияние концентрация феромона. Подобное поведение способствует сближению особей, которое на небольших расстояниях зависит и от их зрения. Далее насекомые обмениваются химическими, визуальными и другими сигналами для стимуляции полового партнера к осуществлению спаривания.

Изучая поведенческие реакции насекомых в специальных устройствах, исследователи пытаются определить ключевой ответ, который можно в дальнейшем регистрировать в биотестах на активность пахучих молекул. Однако из-за многокомпонентности половых феромонов эти ответы бывают различными и зависят от концентрации феромона и привыкания к нему насекомых. Это свидетельствует о необходимости нового подхода к оценке биологической активности феромонов.

Поведенческие реакции насекомых исследуют в специальных устройствах — ольфактометрах. Самый простой из них представляет собой обыкновенную банку или садок с неподвижным воздухом. Более совершенная конструкция у специальных туннельных ольфактометров — цилиндрических устройств с вентиляторами, в которых можно регулировать поток воздуха и визуально наблюдать реакции насекомых как на свету, так и в темноте. Подопытные экземпляры в таких устройствах получают возможность свободно двигаться, а исследователи — наблюдать за их поведением. Для бабочек изготовляют специальные просторные «трубы», а для жуков — лабиринты, путешествуя по которым эти насекомые отыскивают источники пахучих молекул. Такие ольфактометры можно использовать и для сравнительной оценки различных источников феромона.

Известно, что «нос» насекомых может различить самый тонкий аромат среди множества других запахов. Современные химики-аналитики также научились выделять определенные пахучие молекулы из огромного количества химических веществ. Исследователи делают это с помощью новейших методов анализа, один из которых — хроматография.

Этот метод был открыт русским ученым М. С. Цветом в 1906 г. Исследователь еще в юношеские годы заинтересовался тайной зеленого пигмента — хлорофилла. Изучая этот пигмент — «трансформатор» энергии солнечных лучей в энергию химических связей молекул, ученый совершил важное научное открытие. Он изобрел великолепный метод разделения органических веществ, основанный на различной способности их к адсорбции. Используя для разделения зеленых пигментов производные петролейного эфира, М. С. Цвет наблюдал две окрашенные полоски — темно-зеленую и синюю (хлорофиллы а и в). Работая со смесью пигментов из

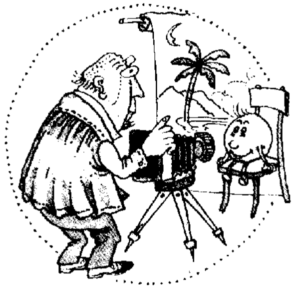
листьев крапивы, ученый с помощью специальной колонки (цилиндра из стекла) получил такое расположение разноцветных слоев: верхний — бесцветный, затем желтый, снова светлый, желто-зеленый, зеленовато-синий, три слоя желтых и последний — светло-серый. Почти настоящая радуга! Химические компоненты зеленого пигмента расположились друг за другом в колонке с адсорбентом, и эту разноцветную картину можно было уже идентифицировать как качественно так и количественно. Красный столбик с пигментом ученый назвал хроматограммой, а сам способ такого разделения сложных веществ — хроматографическим методом. М. С. Цвет, как и многие другие скромные труженики науки, не получил при жизни признания и высокого положения в обществе, но вклад его в науку по достоинству оценен учеными XX в.

Метод, открытый русским ученым, произвел научную революцию во многих областях человеческого знания: биологии, химии, физике и медицине. Благодаря хроматографии стало возможным быстро и точно определить строение и химический состав белков, удалось расшифровать состав очень редких и загадочных веществ, пришельцев из космоса — углистых хондритов. Этот метод широко применяется для анализа загрязнения окружающей среды и установки правильного диагноза в клинических лабораториях. Для химиков хроматографический метод стал надежным помощником в исследованиях молекул: от простых газов до сложнейших углеводородов и аминокислот. Без хроматографии не обходятся и исследователи феромонов. Со временем открытия «молекул любви» тутового и непарного шелкопрядов и до наших дней этот метод надежно служит охотникам за молекулами.

Так, для разделения экстрактов из насекомых применяют различные виды хроматографического анализа. Результаты его регистрирует перо самописца, вырисовывая множество низких и высоких пиков. Например, при расшифровке феромона тутового шелкопряда бомбикола ученые наблюдали около 30 различных пиков.

Со времени открытия этого пахучего вещества положение дел у охотников за летучими молекулами значительно улучшилось. Благодаря современным методам исследований стало возможно определить содержание изучаемого феромона в массе вещества менее 0,1 мг. Если доктору А. Бутенандту потребовалось 20 лет на разгадку тайны пахучих молекул шелкопряда, то сейчас в течение 2...3 лет ученые расшифровывают структуру аттрактантов десятков насекомых. Стали известны химические формулы феромонов яблонной плодожорки, хлопкового долгоносика, бабочки-гелехиды, медоносной пчелы, капрового жука и других шестиногих. Теперь известно, что для общения на химическом языке насекомые пользуются многоатомными спиртами, эфирами, кетонами и различными циклическими соединениями. В настоящее время исследователи обладают целым арсеналом средств для разгадки строения пахучих молекул. В этом химикам в значительной степени помогли физики, и прежде всего тем, что создали физико-химические методы анализа органических веществ. Однако для успешного решения задачи мало располагать точными методами и сложными приборами, без которых сейчас не обходится ни одна аналитическая лаборатория. Охотнику за молекулами-невидимками нужно иметь глубокие знания и опыт, а также уметь правильно сделать выбор методики, необходимой в каждом конкретном случае.

Для разделения смеси феромонов химики, как правило, пользуются методом газо-жидкостной хроматографии. Обладая высокой чувствительностью, он позволяет обнаружить одну молекулу искомого феромона среди 10^{12} молекул газа-носителя. Сущность этого метода заключается в том, что смесь пахучих молекул пропускают через колонку с неподвижной жидкой фазой при помощи инертного газа. Компоненты смеси разделяются в зависимости от их свойств между газовым потоком и неподвижной фазой и выходят из колонки в определенном порядке. Затем они регистрируются специальными детекторами и записываются в форме пиков на перфоленте хроматографа. Для идентификации полученных компонентов сравнивают их показатели при разделении на колонке с аналогичными параметрами известных чистых веществ — «свидетелей». На проведение такого анализа уходят минуты, а его возможности позволяют не только разделить смесь феромонов, но и накопить отдельные вещества в количестве, необходимом для дальнейшей работы.



Однако даже самый совершенный газовый хроматограф не позволяет расшифровать структуру молекул изучаемых веществ. Для того чтобы установить полный «портрет» феромона, химики обращаются за помощью к таким физическим методам, как масс-спектрометрия, инфракрасная спектроскопия, электронные спектры поглощения как в видимой, так и в ультрафиолетовой областях, а также ядерному парамагнитному резонансу.

Масс-спектрометрия — самый чувствительный из методов, позволяющих исследовать структуру молекул. Ведь для такого анализа исследователю достаточно располагать следовыми количествами феромонов — 10^{-9} г. На чем же основан принцип этого метода? В специальном приборе масс-спектрометре на пары исследуемого вещества воздействуют пучком быстрых электронов, которые ионизируют молекулы и превращают их в положительно заряженные ионы. Затем магнитное поле делит полученные частицы на молекулярные и осколочные ионы, которые регистрируются с помощью коллектора и системы усиления сигналов. На ленте прибор выписывает пики, которые соответствуют ионам с определенным отношением массы к заряду. Соответствующая обработка полученных результатов позволяет ученым идентифицировать тот или иной компонент феромона.

В последнее время широкое распространение получили приборы, созданные путем слияния двух методов: газо-жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии. Компьютеры этих электронных роботов, получивших название «хроммассов», располагают огромной памятью о спектрах уже известных веществ, и поэтому для идентификации исследуемых компонентов химического языка насекомых не требуется много времени. Современные приборы позволяют анализировать практически почти все известные классы органических соединений. Для проведения анализа достаточно располагать всего лишь 10^{-9} г вещества.

Довольно часто обращаются химики к методу

инфракрасной спектроскопии, который позволяет определить в молекуле такие функциональные группы, как C=O, C=C, OH и другие. Этот метод возник после первых опытов Исаака Ньютона по разложению солнечного света на разноцветные полоски. Дальнейшие исследования спектров атомов и молекул позволили немецким ученым Р. В. Бунзену и Г. Р. Кирхгофу изобрести спектральный метод анализа. Благодаря ему ученые узнали химический состав Солнца, многих звезд и туманностей. Для инфракрасной спектроскопии необходимо располагать несколькими миллиграммами исследуемого вещества, чтобы получить данные о его химической структуре. А вот для того, чтобы снять спектры молекул в видимой или ультрафиолетовой области, нужно иметь и того менее — всего лишь доли миллиграмма. Эти методы позволяют определить в изучаемых объектах наличие хроматофоров и ароматических колец.

При расшифровке структуры феромонов исследователям довольно часто приходится иметь дело с пространственными изомерами молекул. Здесь на помощь химикам приходит метод ядерного парамагнитного резонанса (ЯМР). Он помогает установить расположение в молекуле водорода, фтора и других атомов, обладающих парамагнитными свойствами. К недостатку метода относится необходимость располагать не менее 3...5 мг изучаемого вещества. В 1944 году советский ученый Е. К. Завойский обнаружил явление электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). При помощи этого метода можно судить о наличии в молекуле свободных радикалов.

Определенный интерес для аналитиков представляет разработанный на кафедре биофизики МГУ профессором Б. Н. Тарусовым и его сотрудниками метод биохемолюминесценции. При помощи специальной электрохимической ячейки в результате окисления некоторых соединений, например циклических аминокислот, создается постоянный фон сверхслабого свечения. Добавляя в такую среду изучаемое вещество, ученые наблюдают изменение фона свечения и по этим данным судят о свойствах молекул.

Для изучения реакционной и радикальной активности, а также интенсивности различных запахов, советские исследователи А. Х. Тамбиев и А. Ш. Ага-

вердиев в 1966 году предложили метод химических моделей, называемый еще методом термоокисления ДОФА. Он заключается в том, что исследуемыми веществами воздействуют на специальные соединения-индикаторы, которые под влиянием последних изменяют такие свои свойства, как интенсивность хемолюминесценции, оптическую плотность, окраску и другие. Довольно часто для регистрации таких воздействий применяют 3,4-диоксифенилаланин (ДОФА). Оптические свойства этого индикатора могут изменяться под влиянием феромонов, что позволяет судить об интенсивности и реакционной способности пахучих молекул.

Используя чудо-технику XX века, исследователи пытаются узнать секреты химического языка насекомых. Расшифровка любого феромона — совсем не простое дело и нередко напоминает работу по расшифровке египетских иероглифов или решение археологических загадок. На этом пути ученых на каждом шагу подстерегают ошибки и удачи, разочарования и находки.

Поэтому успех в расшифровке феромонов насекомых зависит не сколько от технического оснащения, сколько от знаний, опыта, терпения и настойчивости исследователей невидимых кирпичиков здания жизни.

ПО ОБРАЗУ И ПОДОБИЮ

Химики-синтетики, работающие над созданием феромонов, часто оказываются в чрезвычайно затруднительном положении. Им гораздо легче изобразить вещество на бумаге, чем получить его в колбе. Даже знания точной формулы молекулы бывает недостаточно для осуществления ее синтеза. Конструкторы молекул должны прекрасно ориентироваться в химическом лабиринте геометрически разноликих формул, чтобы воспроизвести по расшифрованному соединению его копию.

Об одном характерном для химической «кухни» случае рассказал в своем интервью известный специалист химического синтеза Роберт Вудворт.

Как-то к нему из Англии приехал молодой человек с хорошими рекомендациями — он хотел поработать в лаборатории ученого. Вудворт дал ему задание провести довольно простой синтез. Химик выполнил его за

две недели. Ученый оценил способности стажера и поручил ему сделать серьезную работу — синтез холестерина. Это соединение было выделено в чистом виде еще в 1812 г. Его молекулы представляют собой стероиды циклического строения и присутствуют почти во всех тканях живого организма. Холестерин — необходимый химический компонент для биосинтеза экдизона — гормона роста насекомых. Однако шестиногие не могут синтезировать его самостоятельно и получают в готовом виде с пищей (потребность в нем у разных видов колеблется от 0,01 до 0,1% массы суточного рациона).

И вот холестерин — очень важный строительный материал для клеточных структур — был синтезирован молодым ученым, будущим профессором химии, Вудвортом и его сотрудниками. Через год после этого события, встретившись с Вудвортом, его бывший стажер признался, что был поражен, услышав от ученого о предстоящем синтезе холестерина, и даже подумал: «Видать, он просто сумасшедший», — но все-таки решил попробовать. Как видно, часто создание сложных молекул даже для химиков кажется невероятной, безумной затеей.

И тем не менее самые недоступные органические соединения были покорены в XX в. Достаточно вспомнить синтез пигмента зеленого листа — хлорофилла или молекул здоровья — различных витаминов. Многие чудодейственные вещества, такие, как хинин, убивающий возбудителя малярии, сульфаниламидные препараты — гроза болезнетворных микроорганизмов, пестициды всех поколений и искусственные красители, подарили человечеству конструкторы органических молекул. В настоящее время химический синтез принял индустриальные масштабы. Подсчитано, что каждый месяц в мире синтезируется не менее 25 тыс. новых соединений.

А было время, когда известный химик И. Я. Берцелиус (1779—1848 гг.) и многие другие считали невозможным искусственно создать органические молекулы без помощи магической «жизненной силы».

Своим рождением органический синтез в большой мере обязан выдающемуся химику Марселену Бертло (1827—1907 гг.) Он настолько верил в будущее химического синтеза, что, выступая на съезде француз-

ских фабрикантов в 1894 г., утверждал, что в 2000 г. не будет сельского хозяйства. Химия достигнет такого уровня, когда земледелие станет лишним, и каждый житель планеты будет иметь коробочку с химическими веществами, которые полностью удовлетворят потребность организма в основных питательных веществах: белках и углеводах, жирах и витаминах.

Предвидение великого химика в какой-то мере становится реальностью. Уже изготовлена синтетическая зернистая икра, которая по вкусовым качествам почти не уступает настоящей.

Как же действуют исследователи при синтезе химических соединений? Когда стало известно, что феромон тутового шелкопряда представляет собой сложный спирт, ученые испытали сотни сходных с ним по строению веществ. При помощи «носа-антенны» насекомых прошли проверку даже соединения, содержащиеся в листьях шелковицы, которыми питаются гусеницы шелкопряда. Чтобы получить бомбикол, конструкторам молекул пришлось объединить свои усилия. Одновременно в двух лабораториях шел напряженный поиск путей синтеза этого вещества. В процессе работы были получены многие пахучие молекулы. Причем искусственные вещества в отдельности или в сочетании часто оказывались более привлекательными для насекомых, чем извлеченные химиками из тел шестиногих. Видимо, синтетические вещества не содержали никаких примесей.

Для химиков всех времен поучительным примером могли бы послужить работы Фридриха Велера, который 150 лет назад синтезировал мочевину. Современные аналитические приборы подтвердили чистоту образца вещества, сохранившегося в запаянной ампуле.

Однако не всегда однородность отдельных компонентов запаха дает гарантию успеха при смешивании. Так, «сюрприз» ожидал охотников за ароматом черной смородины. После расшифровки строения и синтеза более 40 различных пахучих молекул химики сделали из них «коктейль» и вынуждены были зажимать носы.

Конечно, ученым этой специальности не привыкать к острым запахам, и обоняние у них от химической кухни притуплено, но вспомним хотя бы запах аммиака.

Для получения феромонов в лабораториях проводят различные реакции. Синтезируя спирты, кислоты, эфиры, кетоны, химики окисляют и восстанавливают, присоединяют и отщепляют различные молекулы и функциональные группы.

Со времени работ пионера химического синтеза Марселена Бертло и до сих пор химикам приходится решать задачу присоединения к молекуле-основе, например ацетилену, другой органической молекулы, состоящей из различного числа углеродных атомов. Для этого хорошо служат реакции конденсации. Они были использованы при получении бомбикола шелкопряда, пропилура розового червя хлопчатника и феромонов грозы садов — восточной и яблонной плодожорок.

Для нормального протекания этой реакции важное значение имеет присутствие различных катализаторов, таких, как металлический натрий, хлористый алюминий, металлорганические соединения. В биохимических процессах, происходящих в живых организмах, роль катализаторов выполняют различные ферменты. Химику же самому приходится подбирать необходимый ускоритель реакции.

Особое место среди катализаторов занимает вещество, предложенное французским ученым Виктором Гриньяром (1871—1935 г.г.) и названное в честь него реактивом Гриньяра. Трудно найти область органического синтеза, где бы не использовали это чудесное соединение, которое часто выручает химиков при конструировании «молекул любви».

Для синтеза феромонов ученые часто используют и реакцию гидрирования ненасыщенных углеводородов. С ее помощью было получено большое количество пахучих молекул.

Конструирование феромонов осложняется и тем, что от пространственного положения молекулы, то есть ее стереометрии, изменяется результат синтеза. Если изомерия на плоскости связана с различным положением отдельных групп (гидроксильной, метильной и других) в углеродной цепи, то стереоизомеры — зеркальные близнецы в пространстве. Химикам приходится про-

верять множество веществ, чтобы поймать так называемую цис- или трансконфигурацию молекулы. Тем не менее благодаря созданию оригинальных методов химического синтеза, основой для которых послужили работы известных советских ученых М. М. Шемякина и Л. Д. Бергельсона, исследователи успешно преодолевают все трудности. Только у нас в стране за последнее время осуществлен синтез феромонов более чем 20 видов насекомых-вредителей.

Наконец-то в руках ученых оказалась стеклянная пробирка с веществом, которое, как золотой ключик, поможет открыть тайны химического языка насекомых. Но как же работает молекулярный механизм «секретного замочка»?

Существует множество теорий и гипотез, при помощи которых ученые пытаются объяснить механизм действия обонятельных рецепторов. Каждый человек по-разному может описать один и тот же запах, но большинство из нас одинаково ощущают прекрасный аромат цветов и хвойных деревьев, хлеба и валерианы. А кто хоть раз в жизни понюхает нашатырный спирт или мускус, тот никогда уже не сможет ошибиться при описании этих запахов.

У японцев существует забавная игра для развлечения гостей. Всем желающим предлагают предмет, который обладает одним из множества известных нам запахов. Победу присуждают тому из присутствующих, который окажется лучшим дегустатором и правильно назовет пахучее вещество. Преимущество в этой игре имеет тот, у кого самый чувствительный нос. Значит, в органах обоняния существуют «сортировщики», которые на каждую молекулу «клеят» ярлык. Кстати, некоторые химики или парфюмеры могут различать до 10 тыс. ароматов.

На первый взгляд все просто: каждый отдельный запах есть не что иное, как воздействие определенных летучих молекул на органы обоняния: хвойный или фруктовый аромат создают сложные эфиры, а запах тухлых яиц — производные сероводорода. Однако чем

тогда объяснить, что разные химические соединения: розетон и фенилэтанол, гераниол и пеларгол имеют аромат розы? К этому можно добавить, что запах камфоры наблюдается более чем у 100 соединений, а запах мяты — примерно у 80 различных органических молекул.

Кроме того, учеными получены данные о том, что вещества, сходные по строению, существенно различаются по запаху.

Может быть, на качество запаха влияют только функциональные группы или конфигурация молекул на плоскости и в пространстве? Оказывается, нет. Уксусная кислота имеет резкий уксусный запах, а масляная — пахнет прогорклыми жирами. У ванилина замена альдегидной группы на нитрогруппу не вызывает изменения аромата. А вот форма молекулы, видимо, играет важную роль в создании запаха.

В конце 40-х годов нашего столетия было высказано предположение о том, что запах не что иное, как «узнавание» пахучей молекулой определенной лунки в обонятельных клетках. Эта идея «замка и ключа», в настоящее время принятая на вооружение биохимиками для объяснения механизма действия ферментов — живых катализаторов, была не нова. Еще более 2000 лет назад римский философ и поэт Лукреций Кар (98—55 гг. до н. э.) писал, что запахи состоят из «первичных начал» различной формы. Приятные запахи образуются из гладких и круглых начал, терпкие — из крючковатых, зловонные — из острых и колючих, проникающих в «поры» органа обоняния.

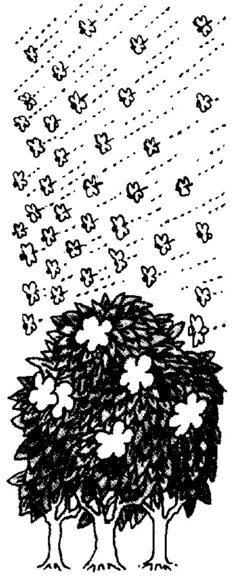
Развивая теорию «молекулы ключа» и обонятельной «ямки-замка», американские ученые предложили свой вариант. Предполагая, что число различных запахов ограничено, как и количество элементарных вкусовых ощущений, он выделил семь первичных запахов. Это известные нам камфорный, острый (запах муравьиной кислоты), мятный (ментол), цветочный (аромат розы), мускусный, эфирный, гнилостный (сероводород). Более того, исследователи описали размеры

и форму обонятельных рецепторов, которые соответствуют этим запахам. Однако и «палочка-выручалочка» Эймура не смогла объяснить нюансы обоняния.

Канадские ученые предложили следующее объяснение проблемы. Пахучие молекулы при соприкосновении с обонятельными рецепторами раздражают их, и те под действием атомных колебаний различной частоты передают нервный импульс в мозг. Причем воспринимаются сигналы только с длиной волны от 20 до 200 мкм. В дальнейшем эти волновые диапазоны были названы осмическими (от греческого «osme» — запах). Однако и эта гипотеза не в состоянии объяснить многие факты.

Изучая тайны обоняния насекомых, ученые получили много важных и интересных данных о механизме восприятия запахов этими животными. Так, они установили, что слой вязкой субстанции, которая выделяется из пор хеморецепторных сенсилл шестиногих, состоит из мукополисахаридов и представляет собой барьер между мембраной чувствительной клетки и окружающей средой. Он играет важную роль в восприятии химического стимула и преобразовании его в нервный сигнал. Мукополисахаридный слой — фактор, свойства которого зависят от физиологического состояния насекомого. Ученые считают, что эффективность этого селективного фильтра зависит от молекулярной структуры веществ, диффундирующих через него. Полученные данные проливают некоторый свет на секреты механизма восприятия запахов в мире шестиногих.

ОПЕРАЦИЯ „ИСКУССТВЕННАЯ САМКА“



«ТРОЯНСКИЙ КОНЬ» ЭНТОМОЛОГОВ

Эта история произошла в конце 40-х годов нашего столетия в одной из латиноамериканских стран. В цветущей долине, которая, словно оазис, лежала посреди безводных и истощенных земель, бо́льшую часть посевных площадей отвели под хлопок.

Прежние сорта и снимаемые урожаи уже не удовлетворяли земледельцев, и они решили обновить посевы. Для защиты растений от вредителей применили ядохимикаты, в первую очередь ДДТ. И действительно, буквально за несколько лет урожай увеличился чуть ли не вполовину. Как тут было не порадоваться земледельцам! Сам собой напрашивался вывод: чем больше и чаще использовать инсектициды (химические препараты для борьбы с насекомыми-вредителями сельского хозяйства), тем лучше будет урожай хлопка. С каждым годом возрастало число сезонных обработок, с каждым сезоном к ним приступали все раньше.

Так, продолжалось года два-три, а потом разразилась катастрофа — урожайность хлопчатника упала.

Несмотря на замену хлорорганических ядохимикатов фосфорорганическими, на повышение дозировки

инсектицидов и сокращение промежутков между их применением, насекомые-вредители наносили огромный ущерб посевам. «Процветали», выработавшие устойчивость к ядам, совки и хлопковый долгоносик.

Немало неожиданностей, как оказалось, таила и сама природа агробиоценозов. Земледельцам все же удалось отбить атаку главных сил неприятеля. Казалось, можно было торжествовать победу. И вдруг на поля обрушились новые, еще более прожорливые «нахлебники», «показали зубы» вторичные вредители — листовертка, моль, мучнистый червец, вред которых для хозяйства в прошлом был практически несущественным. Да и как им было не попасть на посевы, ведь люди сами открыли «шлюзы», по которым эта вражеская рать устремилась на урожай. С отравленных полей улетели птицы, был нанесен сокрушительный урон полезной энтомофауне долины. Ей пришлось хуже, чем насекомым-вредителям. Представители полезных шестиногих не только сами страдали от ядохимикатов, но и погибали от того, что ели отравленных вредителей. Итог был однозначен: вредных насекомых становилось все больше, полезных — меньше. Оказалось, что именно полезная энтомофауна и была той невидимой преградой, которая не позволяла разгуляться полчищам совок и хлопковых долгоносиков, сдерживала численность вторичных вредителей посевов.

Природе неизвестно, как люди для своего удобства разграничивают ее владения, поэтому сохранять полезное — общая забота. Об этом лауреат Нобелевской премии, выдающийся советский ученый, академик Н. Н. Семенов говорил:

«Явления природы, как правило, комплексны. Они ничего не знают о том, как мы поделили наши знания на науки. Если мы будем смотреть на явления только с точки зрения, например, химиков и попытаемся судить о них, то мы попадем в положение человека, который смотрит на предмет с одной стороны и на основании этого делает заключение обо всем предмете. Иначе говоря, окажемся в положении глупца. Только всестороннее рассмотрение явлений... позволит распознать их сущность и применить к практике».

Все это, конечно, не означает, что на химические препараты надо наложить запрет, их будут выпускать,

и химики плодотворно работают над созданием новых инсектицидов. Без них пока не обойтись. Нередко в посевах и насаждениях вредители при благоприятных для них погодных условиях размножаются в огромном количестве, и только пестициды (ядохимикаты для борьбы с сорняками и вредителями сельского хозяйства) способны «остановить» их. Конечно, не только погода способствует «демографическому взрыву». Его провоцирует и нарушение природного биоценоза в результате хозяйственной деятельности человека.

Природа воздвигает на пути экспериментатора, образно говоря, настоящее укрепление со рвами и окопами, мощными бастионами, толстыми стенами. Взять приступом такую крепость нелегко. Поэтому штурмующие применяют сотни приемов и уловок, начиная с попытки выманить неприятеля из-за укреплений, чтобы дать ему честный бой в открытом поле, и кончая засылкой в его стан какого-либо «сюрприза» вроде «троянского коня».

Именно таким действием представляется применение для защиты растений половых аттрактантов. Эти синтетические аналоги феромонов — своеобразный «троянский конь».

Примеров очень высокой видовой специфичности аттрактантов немало. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте защиты растений проводились работы с различными вредителями, в том числе с восточной плодожоркой. В ловушки помещали самок только одного вида. В экспериментальной зоне в значительном количестве развивались и другие разновидности плодожорок, в том числе довольно близкие родственники тех, с которыми работали ученые. Однако, как показали трехгодичные наблюдения, в ловушки, в которых в качестве приманки содержались самки восточной плодожорки, не залетал ни один самец другого вида.

Подобным образом не вызывал никакой ответной реакции аттрактант восточной плодожорки на самцов яблонной.

Зато уж чутье к привлекающим половым веществам своего вида не могут изменить ни время, ни расстояние. Это хорошо иллюстрирует наблюдение над непарным шелкопрядом. В 50-х годах нашего столетия в Марокко из самок этого вида был экстрагирован половой аттрактант и доставлен из Африки на другой континент — в Америку. Самцы непарного шелкопряда, чьи предки были завезены в США в XIX веке (сколько поколений шелкопряда сменилось за столетие!), дружно откликнулись на зов самок из Марокко. Следовательно, у этого вида за длительный период развития в совершенно ином географическом районе не произошло каких-либо существенных изменений в природе аттрактанта.

Существует новый раздел биологии — фенетика. Она исследует наследственно обусловленные признаки особи-фены, характерные для разных популяций животных и растений. С их помощью можно изучить состав и динамику самих популяций.

В качестве примера феногеографической картины приведем интересные данные об одном из переселенцев в Северную Америку — кукурузном мотыльке. При попытке борьбы с этим вредителем с помощью феромонов оказалось, что в популяции существуют два «феромонных фенотипа». Часть насекомых была подвержена действию одного изомера сильнейшего феромона 11-тетрадецинилацетата, остальные совершенно на него не реагировали, но откликались на другой изомер препарата. По этому признаку было изучено 28 европейских и 14 американских популяций. У сообществ из американских штатов Нью-Йорк и Пенсильвания оказались точно такие же феромонные характеристики (по существу физиологические фены), как у популяций из Болоньи (Италия) и Вагенингена (Нидерланды). Оказывается, в 1909...1914 гг. как раз из этих европейских городов доставляли в Северную Америку большие партии зерна, с которыми и мог попасть туда кукурузный мотылек, стойко сохранивший за прошедшие 70 лет свой фенофонд.

В настоящее время изучен состав феромонов более 200 видов насекомых-вредителей. Ученым удалось выделить пахучие молекулы некоторых шестиногих в чистом виде, установить их строение и разработать методы синтеза.

Работа, проведенная исследователями, была сложна и трудоемка. Перефразируя известные строки В. В. Маяковского, можно сказать, что за годы труда — миллиграммы добычи. Но зато это поистине «золотые миллиграммы», позволяющие защитить от вредителей растения, а следовательно, приумножить урожай.

По данным Всесоюзного института защиты растений (ВИЗР), в нашей стране уже синтезированы феромоны яблонной, сливовой, восточной, гороховой плодожорки, непарного шелкопряда, гроздевой листовертки, капустной совки и щелкунов. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте биологических методов защиты растений прошли полевые испытания приманки, изготовленные на основе половых аттрактантов смородиновой листовертки, капустной совки, кукурузного мотылька и других вредителей садовых культур.

Использование аттрактантов позволяет контролировать и даже регулировать численность популяции насекомых-вредителей, не затрагивая и не разрушая при этом других биосферных связей.

Сотрудники ВИЗР, исследуя восточную плодожорку, рекомендовали применять ловушки с девственными самками для регистрации сроков развития поколений вредителей. Этот метод оправдывает себя по нескольким причинам. Во-первых, самцы, вылетая несколько раньше самок, демаскируют их готовность к лёту, что позволяет химической службе своевременно подготовиться к проведению истребительных мероприятий и осуществить их в оптимальные сроки. Во-вторых, зная о видовой специфичности аттрактанта, наблюдатели не тратят времени и сил на точное определение видовой принадлежности вылавливаемой бабочки, на «зов» самки прилетает только восточная плодожорка. Этот метод позволяет принять меры к уничтожению первичных очагов распространения вредителей и сократить площадь обработок инсектицидами.

Биологическая активность и видовая специфичность того или иного синтетического феромона зависят от чистоты химического вещества, в частности от наличия геометрических изомеров и минорных компонентов, которые или повышают их, или, наоборот, оказывают ингибирующее (тормозящее, подавляющее активность) действие. Кроме того, в полевых условиях причиной потери активности может быть фотоизомеризация

«икусственной самки» (изменения структуры молекул под действием света). Так, под влиянием света и кислорода воздуха половой феромон египетской совки окисляется и изомеризуется. Период полураспада синтетического полового феромона другого вредителя — яблонной плодожорки под действием ультрафиолетовых лучей составляет около 4 ч. Однако исследования показали, что изомеризация — не главная причина снижения биологической активности «искусственной самки», хотя она и может быть причиной потери видовой специфичности и аттрактивности феромона в полевых условиях. На стабильность пахучих молекул также оказывает влияние препаративная форма используемого аттрактанта.

Интересные наблюдения сделали ученые при отлове летом грозного вредителя виноградников — гроздевой листовертки. Самцы насекомых вылетали на 2...3 дня раньше самок и уже на второй день реагировали на половой аттрактант. Любопытно, что над виноградом сорта Ркацители в ловушку попало 97 особей, а над лозами Алого терского — 141. По-видимому, сортовые различия оказывают влияние и на привлекательность «искусственной самки».

При проведении полевых опытов ученые заметили, что пшеница, которая росла в непосредственной близости от ловушек с половым феромоном, становилась привлекательной для самцов бабочек листовертки. Растения, находившиеся в непосредственной близости от источника феромонов в течение 30...180 мин, привлекали затем бабочек в течение 100 мин, а в одном случае около 180 мин.

Во многих странах создана специальная сеть наблюдения за популяциями совок при помощи феромонных ловушек. Так, в Восточной Африке проводится надзор за миграцией совки Spodoptera exempa, а в странах Северной и Западной Африки, Индии, Греции, на Кипре за египетской хлопковой совкой.

Японские ученые для прогноза потерь урожая богатого крахмалом растения таро разработали модель, которая включает такие параметры, как число пойманных самцов, число яйцекладок и их размеры, эмбриональный период, доля жизнеспособных яиц, время развития насекомых от яйца до гусеницы четвертого возраста и их выживаемость. На основании этих расчетов экономическим порогом вредоносности вредителя считается 190 пойманных самцов в одну феромонную ловушку в июле и 160 — в августе.

У нас в стране ученые при помощи синтетических половых аттрактантов разработали методику определения сроков химических обработок против хлопковой совки. Исследователи установили, что первые обработки против гусениц следует проводить через 4...6 дней после отлова 4...5 самцов на одну ловушку в первой генерации насекомых и через 3 дня после попадания в ловушку 5...6 самцов второй генерации.

Путем моделирования с применением ЭВМ была доказана возможность использования «самцового вакуума» для борьбы с египетской хлопковой совкой. Расчеты показали, что для снижения вредоносности этого насекомого на 90% необходимо выловить не менее 80% самцов популяции в течение всего сезона с начала лёта бабочек. Неплохие результаты были получены защитниками растений в полевых опытах на острове Крит. На площади 500 га при 3 или 5 ловушках на 1 га удалось на 50 и 70% уменьшить численность вредителя соответственно.

Если «самцовый вакуум» может служить неплохим методом борьбы с вредителями при низкой численности насекомых, то для индустриальной технологии возделывания сельскохозяйственных растений более перспективен метод дезориентации самцов, который можно применять, непосредственно насыщая атмосферу половым феромоном или его ингибиторами. Наиболее детально этот метод испытывался на пяти видах совок.

Широко распространен в США, а также встречается и в СССР многоядный вредитель — серая металловидка, или совка ни.

При проведении опытов самок этого вида помещали в центр круга диаметром 27 м, а вокруг них в шахматном порядке располагали 100 стоек с синтетическим феромоном луплюром. В концентрации 17 мг это вещество в некоторых случаях дезориентировало выпущенных самцов на 80...100%.

Опытным путем обнаружено, что ингибиторы спаривания кукурузной и табачной совок снижали отлов самцов в ловушки с девственными самками на 96,7%, а аттрактанты — на 85,5%. На полях люцерны на

острове Крит энтомологи испытывали ингибитор полового феромона египетской хлопковой совки. При использовании препарата из расчета 100 г на гектар в течение трех недель лёт самцов в ловушки с половым феромоном уменьшился более чем на 80%. Совместное использование в ловушках аттрактанта и ингибитора давало эффект дезориентации на протяжении 60 дней. Для технологии применения таких химических веществ основная трудность состоит в сохранении активности препарата на протяжении длительного времени.

В полевых опытах, проведенных в Малави (государство в Восточной Африке), на хлопчатнике, применение ингибиторов спаривания против совки Diparopsis castanea уменьшило яйцекладку вредителя на 75% при концентрации 38,7 г/га, а при малообъемных опрыскиваниях снизило число спариваний насекомых в среднем на 60%. Некоторые неудачи в опытах связаны с быстрым испарением ингибитора из микрокапсул (до 100% за шесть дней) и его разложением на свету. Экономические расчеты показали, что метод дезориентации был бы оправдан при применении 6,2 г/га ингибитора в каждой из 13 обработок в течение 2 лет.

В нашей стране ученые стремятся применить этот метод против хлопковой, озимой и капустной совок. Борьба с капустной совкой особенно затруднена, поскольку ее гусеницы ведут скрытый образ жизни, и, чтобы уничтожить их, нужно точно знать время, когда насекомые питаются на листьях и не вбуравливаются в кочаны.

Совсем недавно для такого прогноза использовали корытца с бродящей мелассой или определяли количество яиц. Вместо этого трудоемкого метода ученые Украинского научно-исследовательского института защиты растений предложили использовать ловушки с половыми феромонами, которые синтезировали химики Тартуского университета. Максимальные уловы насекомых в различных климатических зонах наблюдались в конце июня — начале июля, а также в середине августа.

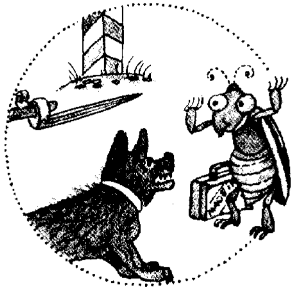
Не везде в борьбе с вредителями пока удается достигнуть одинакового успеха. Перспективным направлением в области защиты растений оказалось, например, использование половых феромонов для надзора за распространением популяций. Оно помогает определять степень зараженности площадей насекомыми-вредителями, устанавливать оптимальные сроки для проведения мероприятий, направленных на уничтожение шестиногих, а также обнаруживать новые карантинные виды.

С ЛОВУШКОЙ НА «ДИВЕРСАНТОВ»

Иногда при международных торговых перевозках вместе со здоровыми ввозят больные или зараженные вредителем растения, которые с пограничных пунктов распространяются в глубь страны. Гибнут сады и виноградники. Так, из Америки в Европу был завезен один из самых опасных вредителей винограда — филлоксера.

История с виноградом, пожалуй, одна из наиболее поучительных. На палубах и в трюмах быстроходных трансатлантических парусников выходцы из Европы, направлявшиеся в Северную Америку, везли с собой не только свой бесхитростный скарб, но и дорогие сердцу растения, которые в трудные минуты жизни на чужой земле должны были напоминать им о покинутой родине. Так попали в Америку и прекрасные, взлелеянные и выпестованные в течение столетий сорта европейского винограда. Однако вскоре обнаружилось, что эти сорта не были приспособлены к новой почве и уже через несколько лет стали отмирать. А местный дикий виноград по-прежнему процветал.

Лишь значительно позже виноградари узнали, что губил европейские сорта винограда гриб — возбудитель ложной мучнистой росы. Пришлось заняться отбором лучших линий дикого винограда и созданием столовых и винодельческих сортов. Виноградари Франции, прослышав о новых американских сортах, закупали их, завозя в Европу вместе с ними грозное насекомое — филлоксеру... В XIX веке этот вредитель проник в Россию и в короткий срок погубил виноградники на Украине, в Молдавии, на Кавказе.



Случалось, что пропадали урожаи на полях и огородах. Пришелец из Америки — гриб-фитофтора вызывает опасную болезнь картофеля. В 1846 году этот гриб попал в Ирландию и погубил весь урожай. В стране начался небывалый голод.

Бывало, что и здоровые растения, оказавшись в новых условиях, вели себя не так, как хотелось бы людям, и причиняли немало вреда. Так произошло с обыкновенной лесной ежевикой. Ее завезли из Европы в Новую Зеландию. Ежевика быстро распространилась по территории страны. Невысокий кустарник, усыпанный мелкими шипами, занял огромные участки пастбищ. Колючие заросли лишили корма местный скот и разорили немало новозеландских фермеров.

Для того чтобы не допустить экологического кризиса во всех странах, была организована карантинная служба сельскохозяйственных растений. Образно говоря, она «первая линия защиты» растительных богатств той или иной страны от завоза извне вредителей растений, возбудителей их болезней, сорняков. Ввозимые посевные и посадочные материалы, растительное промышленное сырье и пищевые продукты проходят досмотр, подвергаются экспертизе в специальных лабораториях. Карантинная служба проверяет суда, самолеты, автомашины и все растения, которые перевозятся через границу. Впрочем, случается и такое...

Казалось бы, какую опасность для сельского хозяйства могут представлять античные мраморные статуи, привезенные в Филадельфию из Сирии с археологических раскопок? А ведь если бы не бдительность карантинных инспекторов, дело могло кончиться плохо: хлопок-сырец, в который археологи бережно упаковали свои находки, скрывал хлопковую моль — опаснейшего вредителя, который уничтожает в отдельные годы до 80% урожая египетского хлопка.

Правда, порой насекомые проникают через границы действительно как «диверсанты». В этой книге уже упоминалось о контрольной полосе, проходящей вдоль границы. Пройти полосу, не оставив на ней следов,

практически невозможно. Уж как ни ухитрялись диверсанты, чтобы миновать ее. Вспомним о случае, когда они пытались перелететь через контрольную полосу по воздуху с помощью небольшого воздушного шара. Подобным способом проникают иногда через границы и насекомые-вредители. Так, на территорию нашей страны попал вредитель плодовых и декоративных культур — американская белая бабочка. Ее принес ветер. А вот врага картофеля — колорадского жука — «доставили» волны. Он тоже проник через границу, как диверсант, нарушив морскую границу государства. В 60-х годах массу колорадского жука волнами прибило на пляжи Одессы, после чего часть жуков перебралась на поля. Подобная картина наблюдалась и на побережье Балтийского моря. Здесь также, несмотря на принятые меры, жукам удалось добраться до картофельных плантаций.

Конечно, описанные случаи не совсем обычны. Работа карантинной службы сельскохозяйственных растений, скажем так, более будничнa. Уже с 1978 года карантинная служба нашей страны стала применять клеевые ловушки с феромонами восточной плодожорки, калифорнийской щитовки, опытными образцами феромонов капрового жука и другими. Данные ВНИИ карантина растений показали, что феромоны способны привлекать самцов восточной плодожорки, находящихся в радиусе свыше 500 м от ловушки. Это позволяет надежно определять наличие вредителей.

Применение ловушек дает высокий экономический эффект и позволяет в ряде случаев отказаться от применения пестицидов. Не только в поле или на виноградниках, но и в лесу феромоны позволяют осуществлять надзор за распространением и развитием вредителей, чтобы избежать лишних химических обработок огромных зеленых массивов. Таким образом контролируют поведение непарного шелкопряда и бабочки-монашенки, распространение короедов.

Интересно, что к истории с короедами в какой-то мере применимо известное высказывание о том, что новое — это хорошо забытое старое. И правда, с давних пор применялся, хотя и в весьма примитивном виде, метод лесозащиты, отдаленно напоминающий использование феромонов. Впрочем, особого удивления это не должно вызывать. Подмеченное природное явление было

поставлено человеком на службу охраны леса от вредителей. Метод заключался в следующем: зимой или ранней весной лесники выкладывали «ловчие» деревья — прообраз современных феромонных ловушек. Срубленные деревья, источавшие сладостные для короедов терпеновые испарения, привлекали жуков. Они заселяли «ловчие деревья», которые приносились в жертву, чтобы сохранить лес. Затем кору, густо заселенную вредителями, сжигали.

Сегодня, для достижения нужного эффекта защиты, короедов привлекают к «ловчим деревьям» при помощи синтетических феромонов, которые применяют или сами по себе, или в смеси с пищевыми аттрактантами, например с одним из наиболее привлекательных компонентов эфирных масел хвойных (таким, как α-пинен, β-пинен, камфен, лимонен и др.).

Одна из характерных особенностей «феромонотерапии» сада и леса — малые дозы применяемого вещества. Так, для привлечения вредителей требуется количество феромонов, измеряемое микродозами, вплоть до 0,05 мг для бабочки-монашенки или 0,001 мг для непарного шелкопряда.

Феромоны используются также для создания своеобразных защитных полос или поясов из ловушек, устанавливаемых на некотором расстоянии от зараженных насекомыми-вредителями участков. Эта фортификация предназначена не для защиты какого-то участка насаждений, а, наоборот, для того, чтобы не допустить распространения вредителей за пределы уже «оккупированных» ими угодий, уменьшить плотность внутри пояса, нарушить связь насекомых с самками.

Конечно, в этом случае расход феромонов возрастает, а счет ловушкам идет уже не на десятки, а на сотни штук. Многое зависит от чувствительности вредителей к данному феромону, численности самой популяции, видовых особенностей насекомых. Так, надежнее всего подобная защита действует, когда насекомые спариваются однократно и самцы вылетают «для заключения брачного контракта» раньше, чем самки. В том случае самцы реагируют на феромоны и отлавливаются еще до вылета своих подруг.

Дезориентация противника еще со времен древнегреческих фаланг и древнеримских легионов (а вероятно, и во времена более отдаленных исторических эпох) была и остается могучим средством для нанесения ему поражения. Так, например, поступают защитники растений, насыщая атмосферу феромонами. Происходит дезориентация самцов, которые не могут отыскать источник пахучего вещества, а при его высокой концентрации, по-видимому, происходит «сбой» органов слежения — адаптация «антенн» насекомых.

В результате многочисленных наблюдений и экспериментов ученым удалось выделить 5 основных механизмов разрыва феромонной коммуникации в борьбе с вредителями.

Прямое нейрофизиологическое воздействие феромонов, вызывающее адаптацию рецепторов и привыкание центральной нервной системы при использовании относительно высокой концентрации вещества.

Воздействие большим числом ложных следов, вызывающих у реагирующих насекомых «неразбериху» и отвлекающих самцов от призывающих самок.

Неспособность самцов различать индивидуальный следовой запах призывающей самки от фонового запаха при высокой концентрации феромонов.

Нарушение восприятия феромонов, когда происходит разрыв взаимодействия между компонентами естественного феромона из-за относительно большого содержания одного из компонентов.

Изменения реакций насекомых, связанные с действием антиферомонов — химических веществ, отличающихся по химическому строению от компонентов феромонной смеси.

В США метод дезориентации самцов был успешно применен против хлопкового долгоносика и хлопковой моли. С 1979 года площадь сельскохозяйственных угодий, защищаемая этим способом, ежегодно удваивалась, и в 1982 году она составила 20% от общего

количества земли, занятой под хлопчатником. При этом расходовалось 18,75 г феромона на гектар посевов.

В настоящее время многочисленными экспериментами доказана возможность использования метода дезориентации в борьбе с яблонной плодожоркой. Опыты, проведенные в СССР, различных странах Европы и Америки, показывают что для этой цели необходимо использовать около 20 г действующего вещества на 1 гектар при 2...3-кратной обработке в течение сезона. Разработана специальная технология использования феромонов при помощи фибороволокон с постоянной скоростью испарения действующего вещества, что позволяет избежать ненужных потерь феромона.

Действительно, половые аттрактанты можно применять и для дезориентации самцов, нарушая внутрипопуляционные связи между особями разного пола. Проведены опыты по феромонной дезориентации непарного шелкопряда на больших площадях леса, сливовой и яблонной плодожорок, хлопковой моли, некоторых видов листоверток. Работа проводилась в садах Краснодарского края и в Крыму. На деревьях подвешивали большое число капсул с феромонами. Самцы были не в состоянии распознать призыв настоящей самки.

В нашей стране примерно 10 лет назад начали синтезировать феромоны некоторых видов вредных чешуекрылых. Особо важным оказалось использование синтетических феромонов для установления границ распространения таких карантинных вредителей, как восточная плодожорка и американская белая бабочка. Удалось значительно снизить численность вредителей и свести к минимуму повреждения побегов и плодов. Создание так называемого «самцового вакуума» дает зримые результаты. Хорошие сведения продолжают поступать с поля боя, где идет сражение с гроздевой и виноградной листовертками.

В Северо-Кавказском научно-исследовательском институте фитопатологии идентифицированы феромоны самок степного, посевного, кубанского и полосатого щелкунов, а также разработаны способы синтеза разных молекул этих насекомых. Полученные в лабораторных условиях вещества были испытаны на полях. Для вылова на «феромоны» свыше 90% самцов

степного и кубанского щелкунов достаточно 300...400 мг феромонов на гектар.

Впрочем исследователи «не отдают предпочтение» только вредителям. Кроме половых аттрактантов вредных насекомых ученые проводят исследования феромонов пчел. Некоторые из них синтезированы во Всесоюзном научно-исследовательском институте химических средств защиты растений и испытаны рядом научных учреждений.

Напрашивается вопрос: зачем вмешиваться в жизнь полезных насекомых, которые и так приносят пользу, добывая мед, воск, пергу, прополис — бесценный набор не имеющих себе равных продуктов? Все это так.

Но в человеке бурлят «гены творчества». Не они ли сыграли главную роль в том, что встав когда-то с четверенек и взяв в передние конечности палку и камень, наш пращур раньше всего «исследовал» возможность совместного использования предметов, получив таким образом первый, никем еще не зарегистрированный патент на изобретение орудий труда... А там пошло и пошло! И вот уже не удовлетворенный «производительностью» растений или количеством одомашненных животных человек выводит новые сорта растений, выращивает более быстрых, выносливых и продуктивных животных. Так почему бы «не улучшить» и пчелу?

Ученые выделили и синтезировали вещество, задерживающее репродуктивную деятельность рабочих пчел и влияющее на закладку ими маточников. Муляж, по форме напоминающий тело матки, обработали однопроцентным раствором этого феромона, а затем подложили пчелиной семье. Насекомые не «раскрыли обмана». Подобное разумное вмешательство в жизнь пчел, как оказалось, имеет большое практическое значение в ликвидации «пчелиного тунеядства» — трутовочности пчел и предотвращает роение.

После любой боевой операции следует ее разбор и составление реляции. Попробуем подвести итог.

Не представляя какой-либо опасности для окружающей среды и теплокровных животных в том числе, применение феромонов может идти по нескольким магистральным направлениям.

Это — надзор за насекомыми-вредителями, создание и поддержание низкого, не достигшего порога вредоносности уровня их популяции, а также борьба с шестиногими при низкой степени заражения угодий, предотвращение появления насекомых-вредителей в новых районах и их уничтожение в тех местах, где, прорвав другие линии обороны, они не были подавлены и уничтожены иными способами ведения «боевых действий».

Специалисты указывают, что одна из основных проблем практического применения синтетических феромонов заключается в создании препаратов с надежным регулированием диффузии — распространения действующего вещества.

Было предложено несколько способов решения этой задачи, однако наибольшее распространение получили так называемые полимерно-аттрактантные композиции и полимерные пленки с заключенным в них феромоном. В первом варианте материалом, в который заключен аттрактант, служат различные термореактивные полимеры, синтетические или натуральные каучуки. Во время испытаний в нашей стране аттрактантов восточной и яблонной плодожорок именно таким путем готовилась «искусственная самка». Полимерно-аттрактантные композиции показали высокую биологическую активность.

Во втором варианте дозированные феромоны заключены в небольшие полимерные капсулы. Они тоже прошли полевые испытания на самцах сливовой, восточной, яблонной плодожорок и непарном шелкопряде. Разработка более совершенных оболочек «искусственной самки» продолжается.

Для этой «охоты без выстрела» нужны не только феромоны, но и специализированные ловушки. Чтобы отлавливать самцов, надо по крайней мере иметь в ловушке отверстие, куда насекомые-вредители могли бы залезть. Может быть, это покажется и несколько странным, но конструкторам не сразу удалось подобрать соответствующие размеры отверстий и месторасположение их в ловушке. Как показали полевые

испытания, успех или неудача этой своеобразной «охоты без выстрела» зависят от конструкции ловушек и применяемых клеев.

Оказалось, что в общем-то неприхотливые насекомые предъявляют чрезмерно повышенные требования к творениям человеческих рук — ловушкам: высоте их размещения, цвету, размерам отверстия и т. д. Так, средиземноморская плодовая муха в опытах предпочитала ловушки, установленные на высоте 4,5 м, а дынная муха, наоборот, — размещенные на поверхности почвы. Для отлова насекомых используют ловушки различной конструкции.

Наибольшей транспортабельностью, компактностью и простотой изготовления отличаются складные бумажные ловушки. Жестких нормативов, регламентирующих их постройку, не существует, и каждый конструктор может привнести в ловушку что-то свое, новое. Одни приспособления предохраняют ее от дождя, другие — фиксируют в собранном виде, третьи — продлевают срок службы (полиэтиленовое покрытие).

Широкое применение получили клеевые ловушки открытого и закрытого типов. Они могут быть изготовлены из различных материалов: картона, пластика, металла и иметь различную форму: цилиндрическую, треугольную (дельта), дискообразную, плоскую и другие. В закрытых ловушках клеевая поверхность защищена от дождя и различного сора, а улов — от расклевывания птицами. Важнейший компонент этих приспособлений — клей, который должен длительное время оставаться липким, не бояться влаги, быть удобным для нанесения и биологически неактивным (не отпугивать и не привлекать) по отношению к насекомым. Жидкостные ловушки отличаются тем, что в них приманку подвешивают на поверхности жидкости (вода с детергентом, масла), налитой в различные сосуды. Привлекаемые «искусственной самкой» шестиногие тонут в жидкости. Такие ловушки используют для отлова некоторых видов совок, гороховой плодожорки и хлопковой моли. Электрические ловушки

оборудованы системой электродов, к которым подведено электрическое напряжение и снизу расположен сборник для насекомых. Насекомые касаются электродов и, пораженные током, падают в сборник. Приспособления такой конструкции применяются для отлова совок, бражников или стеклянниц. Особый интерес представляют ловушки с воронкой на входе. Привлекаемые запахом насекомые, как правило бабочки, залетают в такую ловушку, а выбраться из нее не могут. В такие приспособления помещают также инсектициды, например дихлофос в полимерной пластинке, которая обеспечивает его длительное выделение. Пары фумиганта убивают бабочек, и улов увеличивается. Для поимки короедов деревья или бревна обрабатывают контактными инсектицидами, а пораженных жуков собирают в подставленные снизу воронки или натянутые синтетические пленки. Предложен также ряд конструкций ловушек, которые могут вести автоматический учет пойманных насекомых за определенные промежутки времени.

Конструкция ловушек оказывает влияние на струю испаряющегося феромона и, следовательно, на количество привлекаемых насекомых. На аттрактивность этих приспособлений влияет также и окраска их поверхности. Так, например, японский жук Popilla japonica почти в 2 раза лучше отлавливается желтыми ловушками, чем синими, а некоторые виды листоверток и стеклянницы больше попадаются в темные ловушки, чем в белые.

Конструкция приспособления для истребления насекомых влияет также на концентрацию феромона внутри него, что снижает эффективность отлова насекомых. При изготовлении ловушек необходимо учитывать поведение того или иного вредителя, в частности особенности полета. Одни их них летают быстро, их полет сопровождается бросками из стороны в сторону, другие — медленно и плавно. Одни насекомые подлетают непосредственно к источнику запаха, другие же сначала садятся поблизости, а затем приближаются к нему по поверхности субстрата.

Самцы некоторых шестиногих, например совок, в поисках самки могут преодолевать различные препятствия — дверцы, отверстия и другие. Многие же насекомые делают это с трудом. Как бы хороша ни

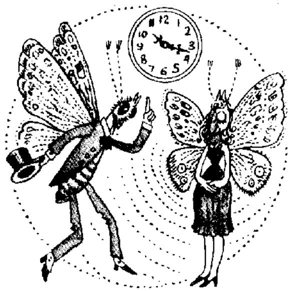
была ловушка, она никогда не отлавливает всех привлекаемых феромоном насекомых. В самые лучшие приспособления для самцов хлопкового долгоносика попадается только около 50% насекомых. В то же самое время для восточной плодожорки конструкция феромонной ловушки не имеет особого значения.

Важно и то, какое вещество применяется в ловушке для уничтожения насекомых. Обычно для этого используются инсектициды и клеи различного состава.

Большое влияние на эффективность ловушки оказывают также выбор места установки и высота ее относительно растений. Для шестиногих растения могут служить зрительным ориентиром или пищевым аттрактантом.

Немало и других препятствий, но уже чисто биологических, связанных с нераскрытыми еще тайнами насекомых, надо преодолеть, конструируя и устанавливая ловушки. Следовательно, наибольший эффект будет достигнут только при всестороннем учете биоритмологии насекомых, что позволит установить ловушки в определенное время лёта при определенной освещенности. При изучении феромонов яблонной и восточной плодожорок, а также других насекомых было установлено влияние суточного ритма на выделение полового аттрактанта и ответные реакции самцов.

Ученые провели лабораторные опыты с бабочками восточной плодожорки, помещенными в стеклянные сосуды. Результаты эксперимента показали, что половая активность этих насекомых наступает в конце дня и продолжается в основном с 17 до 20 часов. Остальное время бабочки находились в покое, устроившись на дне или на стенках своих стеклянных клеток. Лишь в вечерние часы присутствие самки активизировало



самцов, и они проявляли бурную реакцию: трепетали крыльями, преследовали передвигающуюся самку, изгибали брюшко при приближении к ней. Это было ответом на половой феромон, само появление которого подчинялось суточному ритму.

Исследователи поставили контрольный опыт. Они заменили живых самок на экстракт феромона и предложили его самцам в час «пик» восточных плодожорок. Реакция самцов выражалась в поднятии «антенн», трепетании крыльев и кружении вблизи кусочка фильтровальной бумаги, пропитанной экстрактом. Как и в опытах с живыми бабочками, самцы реагировали на «искусственную самку» в вечерние часы и оставались безразличными к ней и неподвижными в дневные.

Ближе к ночи сдвинуты «феромонные ритмы» и у яблонной плодожорки. У нее свое суточное время. Ритмология активности самцов и самок также изучалась в лабораторных условиях. Оказалось, что максимальное число активных насекомых (46...56%) природной популяции приходится на 22...23 часа. Примерно в это же время наблюдалось и максимальное число самок (50...60%), выделяющих феромоны.

Случайность или закономерность? Возможно, и здесь мудро распорядилась природа, выделив каждому виду свое время.

Чтобы подтвердить или опровергнуть это предположение, нужны опыты и опыты.

И еще одно «белое пятно». В ловушках синтетические феромоны постоянно источают привлекающий запах, а в природе? Подобное расточительное отношение к запасам химикатов как будто неразумно. Не испускает ли самка запаховые импульсы, не объясняются ли и некоторые неудачи тем, что если не у всех, то у многих насекомых существует своеобразная «запаховая азбука Морзе»?

Как известно, плотность популяции насекомых влияет на различные стороны их биологии: скорость роста, соотношение полов, массу и размеры тела, цвет и другие особенности. Большой интерес для энтомологов представляет также влияние плотности популяции насекомых на выделение половых феромонов. С этой целью проводили опыты над тремя видами бабочек, относящихся к различным семействам: мельничной огневкой,

непарным шелкопрядом и бересклетовой горностаевой молью.

Наблюдения показали, что самки всех изучаемых видов бабочек, появившиеся из гусениц, популяция которых имела высокую плотность, отличались пониженной призывной активностью. Так, среди самок мельничной огневки было отмечено снижение феромонной активности на 11%, непарного шелкопряда — на 13% и бересклетовой горностаевой моли — на 23,4% по сравнению с контролем.

Кроме того, насекомые, отличающиеся пониженной призывной активностью, обладали меньшими размерами, а продолжительность жизни у горностаевой моли была короче. Высокая плотность особей в стадии гусеницы отрицательно влияла на призывное поведение половозрелых самок изученных видов чешуекрылых.

Полученные учеными данные позволяют более эффективно организовать борьбу с насекомыми-вредителями.

В настоящее время широким фронтом идут работы по использованию феромонов в карантинной службе. При помощи «искусственной самки» охотятся за такими опасными вредителями, как восточная плодожорка, калифорнийская щитовка и червец Комстока.

Что касается использования феромонов для борьбы с насекомыми-вредителями, то здесь успех будет зависеть от многих факторов. Среди них — определение всех компонентов химического языка шестиногих, изучение механизмов хеморецепции, совершенствование технологии создания биополимерных испарителей и специальных клеевых составов.

Для достижения существенных успехов в регуляции численности вредных насекомых необходимо хорошо изучить поведение этих животных и взаимоотношение их с растениями. Исследования вторичных метаболитов, таких, как фитонциды и антифиданты, пищевые аттрактанты и феромоны откладки яиц, позволят проникнуть в тайны химических взаимоотношений насекомых не только с сородичами, но также с растительным миром.

Располагая комплексом биологически активных соединений, защитники растений смогут целенаправленно воздействовать на популяцию любого вида насекомых,

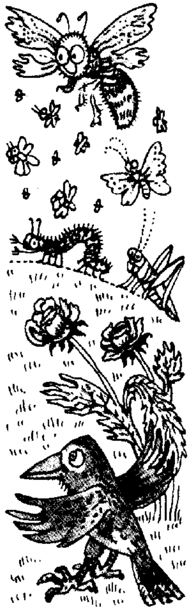
что уже к 2000 году позволит получить ощутимые результаты.

Какие горизонты откроются перед учеными завтра, каков будет вклад «феромонотерапии» в защиту растений, покажет будущее. Прав был писатель Андре Моруа, говоря, что ни одно исследование никогда не бывает до конца завершено. Самое большое достоинство хорошо выполненной работы в том, что она открывает путь другой, еще лучшей работе.

И как знать, не принесет ли упорный труд ученых новые, совсем неожиданные плоды. Ведь именно открытия, совершенные в последнее время, позволили узнать уже много тайн шестиногих обитателей нашей планеты и разработать методики управления их поведением.

Однако человечество должно сознавать, что вмешательство в природу необходимо проводить очень осторожно. Об этом и пойдет речь в следующей главе.

НАМ ЖИТЬ ВМЕСТЕ



Феромоны — лишь часть программы биологических методов в применяемой ныне системе защиты урожая от вредителей. Им в настоящее время уделяют все большее и большее внимание во всех странах.

Дело в том, что проблема взаимодействия пестицидов и окружающей среды давно уже вышла за рамки сельскохозяйственных регионов и получила глобальное значение.

В своей книге «Введение в химическую экологию» известный французский ученый М. Барбье пишет: «Проблема загрязнения окружающей среды вынудила людей всей планеты найти общий язык: для них абсолютно необходимо сохранить в целости биосферу. Итак, мы вынуждены пересмотреть свои отношения с природой: мы больше не вправе игнорировать окружающую нас среду... К любознательности, которой вчера мог довольствоваться натуралист, сегодня должно прибавиться сознание необходимости защитить природу. Одного наблюдения недостаточно, и теперь натуралист пришел к необходимости предугадать пути развития экосистем. Энтомологи и ботаники вынуждены сегодня раздвинуть пределы своего мира и стать экологами».

Время летит, и научные открытия, отдаленные от нас всего двумя-тремя десятилетиями, уже стали достоянием истории. Опыт обобщен, сделаны выводы, отобрано лучшее, что принесла наука в практику и чем последняя обогатила исследователей. Так случилось с созданием и использованием синтетических органических пестицидов, сыгравших большую роль в интенсификации защиты растений и увеличении производства продуктов сельского хозяйства.

В 50...60-х годах, доказав на деле свою высокую эффективность и универсальность, быстроту достижения результатов, практическую доступность и, наконец, простоту самого метода уничтожения вредителей, пестициды стали основным средством защиты растений. И хотя многим казалось, что проблема веков решена, «звездный час» пестицидов продолжался недолго. Вскоре начали замечать нежелательные последствия «тотальной пестицидной войны» против вредителей урожая, массированного, часто неумелого и неконтролируемого использования этих химических веществ в сельском и лесном хозяйствах.

Более того, частично уничтоженные и значительно поредевшие отдельные вредные виды насекомых через некоторое время вновь обретали силу и переходили в наступление на поля, леса, огороды и сады.

Вспомним о яблонной плодожорке — вредителе яблони, груши, персика и грецкого ореха. Конечно, используя химические препараты для борьбы с плодожоркой, можно достигнуть определенного успеха, но закрепить его обычно не удается. Регулярная химическая война развивает у насекомых устойчивость к пестицидам и... отпугивает от сада пернатых. И вот результат — урожай гибнет, а плодожорка процветает. При благоприятных же условиях птицы, главным образом синицы и дятлы, уничтожают более 50% гусениц.

Число таких неожиданных связей можно продолжить хотя бы на примере той же яблонной плодожорки. Паразиты и хищники уничтожают от 5 до 20% гусениц и яиц этого вредителя сада. Однако после химической обработки плодовых насаждений многие энтомофаги гибнут, и плодожорка переходит в наступление. Наибольшей численности паразиты и хищники яблонной плодожорки достигают в заброшенных или необрабатываемых садах, но лишь единичные экземпляры этих врагов вредителя встречаются в местах, где регулярно проводятся обработки синтетическими инсектицидами.

В настоящее время уже, пожалуй, не услышишь призывов о поголовном уничтожении тех или иных насекомых. Наши экологические знания возросли, изменился и подход к решению проблемы. Луг, поле, степь, сад, огород и даже «зеленый островок» — цветник перед домом — это сложная система, которая развивается по своим собственным законам (об одних ученые уже знают много, другие — еще не познаны), и изменить их человеку не дано. В любом учебнике по экологии можно прочитать, что нет «просто цветов» или «просто насекомых», полезных или вредных с точки зрения людей, а существуют сообщества. Любое сообщество — не случайный набор видов, которые словно детали из строительного детского конструктора человек, пользуясь методом «получилось — не получилось», может переставлять произвольно с места на место. В природе подобные «перестановки» обходятся слишком дорого и, кроме вреда, не приносят ничего. Любая экосистема реагирует на вмешательство извне, и во время ее преобразования человеком могут произойти не всегда предсказуемые изменения.

Управление численностью насекомых-вредителей всегда ставится земледельцами во главу угла. Определение порога, за которым вредоносность того или иного вида приобретает опасные для сельскохозяйственных растений размеры, — та сигнальная ракета, после которой в бою следует атака. Да, сам вопрос о «пользе» и «вреде» того или иного вида очень сложный. Прежде чем решиться на борьбу с насекомыми сегодня, приходится учитывать не только сиюминутную выгоду, но и возможные убытки, которыми «пиррова победа» может обернуться как в ближайшее время, так и в отдаленном будущем. Определение этого — одна из многих составляющих экологии.

Да и все ли насекомые изучены? Директор Биолого-почвенного института Дальневосточного научного центра АН СССР профессор Лер пишет, что в настоящее время общее число видов насекомых оценивается в 3...4,3 млн. Дальний Восток, населяют не менее 50...60 тыс. видов. Только около 1000 из них отмечены как вредные. Видов насекомых, приносящих пользу,

значительное больше, но недостаточные знания не позволяют даже приблизительно назвать их число.

Здесь кстати рассказать одну «экологическую историю», которую, вспомнив басни Крылова, можно было бы по аналогии назвать «Тля и муравей».

На примере рыжих муравьев, чьи муравейники стали объектом заботы и охраны, можно проследить, насколько сложны ситуации и взаимосвязи в природе, изучением которых занимается экология. Что может случиться, если окружающий нас животный мир «грубо» делить на «полезных» и «вредных». Тли — мельчайшие растительноядные насекомые, злостные вредители. Примеров тому достаточно. Они губят урожай яблоневого и грушевого сада, декоративные растения. Тли обитают большими колониями либо на надземных частях растений — стеблях, листьях, либо на корнях. Эти мелкие нежные насекомые убивают растения, буквально высасывая из них соки. Листья, на которых поселилась тля, не бросаются в глаза повреждениями. Ведь тля не обкусывает их, а сосет. Листья, словно их точит скрытая болезнь, теряют свой сочный зеленый цвет, сначала они светлеют, затем желтеют и, наконец, увядают. При массовом поселении сосущих насекомых на стволах или корнях растения могут засохнуть. Даже великаны леса — хвойные деревья не могут устоять против этих насекомых, самые большие из которых имеют в длину всего-то 6,0 мм! Тля вызывает преждевременное опадение хвои, и за какие-нибудь два года деревья усыхают. Так объявим же беспощадную и бескомпромиссную войну тле, войну на полное уничтожение! Собственно, так и пытались поступать до недавнего времени. Правда, без должного успеха. Но в природе все полезно и необходимо, ведь взаимодействие живых организмов и их пищевые связи очень сложны. Если уничтожить тлей, растения будут развиваться гораздо лучше. Но многие животные, питающиеся этими насекомыми, погибнут от голода, а шестиногие, собирающие сладкие выделения тлей, ощутят недостаток углеводов в ежедневном рационе. Рыжие муравьи вымрут, так как ежегодно обитатели одного муравейника слизывают до 90 кг «медвяной росы».

Именно с биологической особенностью тли связан интерес, который проявляют к ней муравьи. Покровы у тлей нежные, и через них легко испаряется вода.

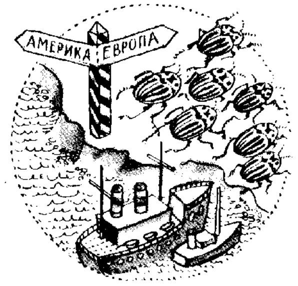
Поэтому, чтобы не погибнуть от высыхания, насекомые высасывают большее количество соков растений, чем им необходимо для пропитания. Избыток сахаров, растворенных в соке растений, на которых насекомое питается, но которые им не усваиваются, выводится в непереваренном виде из организма тли. Этим выделением и питаются муравьи.

Не все виды муравьев можно зачислить в союзники человека. Например, муравьи Рихтера доставляют немало хлопот фермерам ряда сельскохозяйственных районов США. Они наносят ущерб посевам различных культур. Был выделен и синтезирован феромон этих муравьев. Он-то сразу и облегчил борьбу с ними. Синтетический феромон добавляли к инсектициду, но обрабатывали химическим препаратом не все поле, а небольшой участок посева. Феромон привлекал к себе внимание. Достаточно было одному-единственному муравью проложить сюда путь, как по проторенной дороге, которую, как и положено этому общественному насекомому, муравей-разведчик отметил своими настоящими феромонами, устремлялись и другие особи. А дальше вступал в действие инсектицид. Ценность метода и в уменьшении расхода пестицида, что само по себе экономически выгодно, и в снижении вреда для окружающей природы.

Химическое оружие, применяемое для защиты растений, в отличие от биологического, имеющего более строгую направленность, уничтожает правых и виноватых — насекомых-вредителей и насекомых-хищников, которые в естественных условиях уничтожают врагов урожая или лесных насаждений. Однако первые, как растительноядные (у них-то пища в изобилии), способны быстрее восстановить численность популяции, чем насекомые-хищники, и снова приняться за уничтожение растений.

Известна биологическая борьба с вредителем плодовых сортов в Северной Америке, которая продолжалась по крайне мере с 1860 по 1980 г. В эти края плодожорка попала из Франции в первой половине XVII в. С 1935 г. предпринимались попытки искоренить ее при помощи насекомых-хищников. Конечно, удача налицо, но о полной победе говорить не приходится. Биометоды помогают пока выигрывать сражения только во время боев «местного значения».

Бывают случаи, когда, несмотря на все принимаемые



меры, насекомые не только не уменьшаются количественно, но и «завоевывают» новые территории и даже «перешагивают» (правда, не без помощи человека) границы материков.

В начале XX в. в США объявился европейский вредитель — кукурузный мотылек, который нашел здесь для себя такую благодатную почву, что стал еще более плодовитым, чем на родине, и, не ограничиваясь кукурузой, включил в свое меню многие другие культуры. Ущерб, который он наносит ежегодно, исчисляется миллионами долларов.

Правда, новый свет не остался в долгу перед Европой и вскоре «одарил» ее... колорадским жуком. Этот вредитель встречался в Северной Америке в основном на диких растениях из семейства пасленовых. До середины прошлого века о нем вообще-то знали исключительно энтомологи. Но вот этот жук, считавшийся безвредным, попал на картофельное поле (кстати, картофель тоже из семейства пасленовых) и стал размножаться с катастрофической быстротой, начисто объедая листья растений. В 1922 г. колорадский жук был впервые зарегистрирован в Европе. С тех пор наступление его продолжается. Колорадский жук дает три поколения за сезон, а потомство одной самки может составить 31 млн. экземпляров, причем она не самая плодовитая среди вредителей. Так, потомство самки кровяной тли, появляющееся за одно лето, выражается 31-значным числом.

Более 60 тыс. видов насекомых паразитируют на растениях. Сколько растений погибает, становясь пищей различных вредителей, которые повреждают корни, стебли, листья. Чтобы обрисовать масштабы потерь, приведем такой пример: одна гусеница бабочки за сутки съедает листьев деревьев в 4...5 раз больше, чем весит сама. Сколько полей, опустошенных массовым нашествием вредителей, чернеют, словно немой упрек земледельцу. Особенно тревожат сообщения о том, что все больше возникает устойчивых популяций вредителей. Это явление происходит быстрыми темпами и приобретает угрожающие масштабы.

Опубликованы неутешительные статистические данные о том, что ежегодно вредители истребляют на нашей планете свыше 30 млн. тонн зерна. Это значит, что хлеборобы вынуждены платить огромную дань, отдавая насекомым помимо своей воли почти каждый пятый центнер урожая. Конечно же, среди вредных шестиногих немалую часть составляют и те виды, которые приспособились к пестицидам.

Что значит приспособились к пестицидам? Ведь природа не снабдила насекомых «респираторами». Исследователи видят причину в том, что насекомые — эти древнейшие обитатели планеты — очень жизнеспособны, а их развитие продолжается и в настоящее время. Очень высокая способность к размножению ведет к тому, что среди потомков одной и той же пары насекомых появляется особь, которая под действием химического агента, вызвавшего мутацию (изменение наследственных свойств организма), отличается от предков более высокой сопротивляемостью к пестицидам и выживаемостью. Пожалуй, в этом плане наиболее характерен пример с ДДТ, который в 50-х годах широко применялся в сельском хозяйстве для уничтожения вредителей урожая. ДДТ действовал на нервную систему насекомых, накапливался в ней и вызывал ее паралич. Этот препарат стал применяться в широких масштабах и, надо сказать, небезуспешно. Прошло несколько лет, и с полей стали поступать менее утешительные сведения. На некоторых насекомых-вредителей ДДТ перестал оказывать свое парализующее действие. Энтомологи определили, что у таких шестиногих появился фермент, который окислял, обезвреживал этот препарат.

Из 60 видов комаров, распространяющих на земном шаре малярию, 50 видов безболезненно переносят любой из трех инсектицидов, считавшихся наиболее эффективными. Причем более 10 из этих видов уже выработали устойчивость и к новым инсектицидам.

Группа энтомологов и биохимиков изучила динамику эффективности воздействия пестицидов, гербицидов и инсектицидов на насекомых-вредителей. Установленно, что за десятилетие (1971—1980 гг.) число видов разнообразных вредителей сельского хозяйства, обладающих полным иммунитетом по крайней мере к одному из пестицидов, возросло во всем мире с 225 до 428. За этот же период в 17 раз увеличилось число видов

насекомых, устойчивых к такой широко распространенной группе химических средств борьбы, как карбаматы. Муха домашняя и червь табачный, вредящий хлопковым плантациям в США, «переносят» почти любой опробованный на них пестицид. В странах Азии известно 11 видов насекомых-вредителей рисовых посевов, устойчивых по меньшей мере к одной из групп этих химических соединений.

Применение пестицидов, кроме неудач в области защиты растений, таит в себе еще одну, мягко говоря, неприятность для человечества. После массовых применений пестицидов в почве, атмосфере, воде рек и озер, в живых организмах стали находить следы этих веществ. Даже за тысячи километров от земледельческих районов в суровом бассейне Северного Ледовитого океана были обнаружены пестициды.

Массированное наступление на вредителей обернулось чем-то вроде бомбы замедленного действия для биосферы, нарушились естественные сообщества организмов — биоценозы, резко снизилась их способность к саморегулированию.

По мере того как факты отрицательного воздействия синтетических пестицидов на биосферу не только накапливались, но и анализировались, ученые и практики убеждались в необходимости комплексного поиска новых путей профилактики и борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур с учетом проблем охраны окружающей среды. Стали вырисовываться и эти пути — разумное сочетание методов, возвращение к традиционным способам и поиск новых эффективных и безопасных пестицидов, при создании которых учитывались бы не только экономические, но и, может быть, в первую очередь экологические, санитарно-гигиенические и социальные аспекты защиты растений.

В последние десятилетия приобрели право гражданства в области защиты растений термины «интегрированная борьба», «интегрированные методы», «интегрированная система». В понятие их входит сочетание химических, агротехнических и биологических методов, применяемых с точки зрения эффективности борьбы с вредителями растений и наибольшей безопасности окружающей природы.

Химические средства в интегрированной системе защиты растений сейчас занимают первое место, и

благодаря их применению в нашей стране сохраняется сельскохозяйственная продукция на миллиарды рублей, а борьба с насекомыми-вредителями проводится на десятках миллионов гектаров сельскохозяйственных угодий. В ближайшее время пестициды еще останутся на службе у защитников урожая, но они будут применяться в сочетании с другими агротехническими приемами, один из которых — выведение устойчивых сортов растений.

Это весьма радикальное средство защиты сельскохозяйственных культур, хотя и самое сложное, так как речь идет о вторжении в интимный механизм клетки. Устойчивость, как и любой другой признак, передающийся по наследству, контролируется строго определенной системой генов. Вмешиваясь «со своими предложениями» в этот великолепно отлаженный природный механизм, мы как бы провоцируем растения на предпочтительность одного перед другим. Такой отбор растений на устойчивость нередко приводит к ухудшению других свойств, присущих до этого растениям,— скороспелости, урожайности, пищевой ценности. Однако игра стоит свеч.

Трудности создания устойчивых сортов заключаются в том, что каждый ген, отвечающий за это качество, контролирует невосприимчивость растений не ко всем разновидностям врагов, а лишь к некоторым. Кроме того, случается, что из-за мутации возникают новые расы вредителей, которые в течение нескольких лет преодолевают сортоустойчивость.

«Корни современного растениеводства, — говорит академик А. А. Баев,— уходят в глубь тысячелетий. Окультуривание диких растений началось еще в неолите и в конце концов привело к формированию 29 главных видов сельскохозяйственных культур, которые кормят человечество. Но экологические условия постоянно меняются. Возникают новые паразиты, против которых растения еще не выработали средства защиты. Новые факторы возникают и в результате человеческой деятельности. Растения должны приспосабливаться и к ним. Так что необходимость в селекции непрерывно растет. Выводимые сорта обычно рассчитаны на 6...8 лет использования. Затем их следует заменять новыми».

Особое место в интегрированной системе защиты

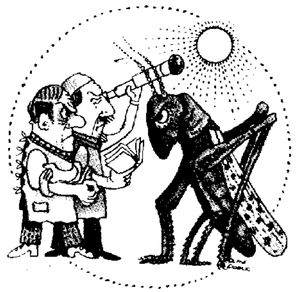
урожая занимают биологические методы борьбы с вредителями. На них ученые и практики возлагают большие надежды. К биологическим методам относится и использование живых организмов — врагов наших врагов, и регулирование численности популяции при помощи сигнальных химических соединений.

Специалисты считают, что полезных насекомых десятки тысяч видов. Их в несколько раз больше, чем вредных. В природе у каждого вредителя есть естественный противник. Насекомые-хищники, или энтомофаги, стали союзниками земледельцев, а некоторые виды разводятся искусственно. В СССР биологические методы защиты применяются на площади в несколько десятков миллионов гектаров. Например, энтомофаг трихограмма размером не более 1,5 мм используется в борьбе против озимой, хлопковой, капустной, огородной и других совок, кукурузного и лугового мотыльков, яблонной и гороховой плодожорок. В промышленных условиях разводятся энтомофаги златоглазки, хищные мушки галлицы (против бахчевой тли) и другие враги наших врагов. В стране постоянно расширяются масштабы экологически чистых и экономически выгодных биологических методов борьбы с вредителями и создается оборудование для разведения в промышленных условиях полезных насекомых.

Природа многообразна. Массовое размножение насекомых обусловлено внутренними особенностями вида, закрепленными наследственно, а также внешними факторами. Сюда можно отнести климатические изменения, вызванные солнечной активностью, сокращение количества врагов данного вида, которые подчиняются несколько иной цикличности, и другие причины.

Выдвинуто предложение о создании государственных книг, в которых будут регистрироваться циклы массового размножения насекомых, наносящих большой вред сельскому хозяйству. Устанавливать и регулировать численность популяций службе защиты растений помогут феромонные ловушки.

Пока все без исключения испытанные феромоны показали себя с самой лучшей стороны: они наименее токсичны из всех средств борьбы с насекомыми. Применение феромонов может преследовать две цели: массовый вылов особей для удаления бóльшей части



размножающейся популяции или только ее дезориентацию — разрушение системы связи между самцами и самками.

Проходят испытания также и другие сигнальные химические средства — антифиданты, или «подавители питания». Если считать, что использование феромонов находится в «юношеском возрасте» (этому методу нет и двух десятилетий), то применение антифидантов — «в младенческом». Пожалуй, такие соединения ближе всех стоят к «терапевтическим» средствам борьбы с насекомыми, так как в отличие от большинства других средств подавители не ликвидируют самого вредителя, а лишь снижают наносимый им ущерб. Антифиданты не губят других насекомых и не нарушают равновесия в природе. Кроме того, если к инсектицидам насекомые привыкают, то к антифидантам адаптироваться не могут.

Конечно, мощная доза антифиданта может убить насекомое, точнее сказать, довести вредителя до голодной смерти, если он монофаг — поедает один-единственный вид корма и не может «переквалифицироваться» на иные, или — олигофаг и питается лишь немногими видами растений. Как, например, колорадский жук, для которого пищей служат только те растения, которые принадлежат к семейству пасленовых.

Как отбить у жука аппетит? Как «отвадить» его от пасленовых? Один путь тот, о котором говорил академик А. А. Баев. Он ведет к «созданию» растений, которые сами вырабатывают вещества, отбивающие аппетит у жука. Другой — синтез или получение природных антифидантов и обработка ими растений.

Антифиданты — это целый набор очень специфичных веществ, которые трудно синтезировать. Однако установлено, что они входят в состав защитных секретов и метаболитов — продуктов жизнедеятельности растений. Правда, растительные антифиданты имеют недостатки: действие их кратковременно и неустойчиво, к тому же, чтобы получить их в больших количествах, нужно переработать очень много исходного сырья.

Использование «подавителей питания», относящих-

ся к природным соединениям, пока еще не вышло из стадии эксперимента. Исключение, пожалуй, составляют пиретрины — органические эфиры, экстрагируемые из сушеных цветков растения, похожего на ромашку, выращиваемого главным образом на Африканском континенте. Так, гусеницу яблонной плодожорки пиретрины отпугивают от пищи. Самое важное преимущество природных антифидантов — возможность их интеграции с применением полезных насекомых.

В настоящее время репелленты все чаще приходят на помощь человеку. Эти вещества обеспечивают нормальные условия труда для людей, защищая их от гнуса и комаров. Репелленты — незаменимое средство для туристов, рыболовов, охотников и всех, кто любит отдыхать на природе. Эти вещества используют в форме аэрозолей, кремов и эмульсий, нанося их на кожу, рабочую одежду, защитные сетки и накидки. Наша промышленность выпускает такие лосьоны, как «ДЭТА-20» и «Ребепин», кремы «Редэт» и «Табу-В», аэрозоль «Тайга» и другие. Так летучие молекулы защищают людей от кровососущих насекомых.

Интересные методы биологической борьбы с насекомыми-вредителями предложили ученые Института биоорганической химии Академии наук Белоруссии. Синтезированные ими вещества имитируют запах определенного вида сельскохозяйственных вредителей и тем самым привлекают на поля и сады их естественных врагов. Уже начата разработка промышленной технологии получения этих пахучих биостимуляторов.

Учеными Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений было изучено влияние химических стимуляторов на насекомых-яйцеедов (энтомофагов) вредной черепашки, горчичного, рапсового и капустного клопов. Известно, что одни энтомофаги при поиске мест обитания хозяев ориентируются на кормовые растения, другие — используют сочетание запахов пищи хозяина и следов его жизнедеятельности, третьи — ориентируются только по пахучим молекулам насекомых. Химики обнаружили, что аттрактант

энтомофагов — ванелин — один из компонентов полового феромона самцов вредной черепашки.

Лабораторные и полевые наблюдения показали, что при поиске яйцекладок хозяев энтомофаги используют пахучий след последних. Была отмечена предпочитаемость запахов одних видов насекомых-хозяев относительно других. При выборе и заражении хозяев яйцееды наряду с запахом реагируют на форму, размеры, окраску и структуру поверхности тела насекомых. Весь процесс выбора и поражения хозяина энтомофагами состоит из 3-х фаз: обследования яйцевой поверхности «антеннами»; заражения, включающего прокалывание яйца хозяина и откладку своих яиц; маркировки поверхности вершиной яйцеклада после откладки яиц. Интересно, что первые две фазы зависят от формы, размеров и химических стимуляторов. На третьей фазе важную роль играет структура поверхности.

Для повышения эффективности поиска энтомофагами вредной черепашки защитники растений обрабатывали поля пшеницы хлористометиленовыми экстрактами самок. Такая обработка повышала заражение яиц насекомых-вредителей на 10...20%.

В заключение надо сказать, что интегрированные методы защиты растений предусматривают не простое истребление отдельных видов вредителей, а долговременное сдерживание комплексов вредных организмов на безопасном уровне. Эти методы наиболее целесообразны и с точки зрения охраны окружающей среды. Они позволяют выбрать такие средства подавления вредителей, которые не только сохраняют, но и активизируют деятельность полезных организмов.

Сегодня все многообразие научных методов, весь арсенал контрольно-измерительных приборов, вся мощь современной науки направлены не на тотальное уничтожение вредных насекомых, а на разработку мер и средств разумной защиты растений, на восстановление нормального соотношения видов, на сохранение природных генофондов планеты.

При всем обилии видов растений и животных каждый из них по-своему уникален и представляет бесценный дар природы, сформировавшийся в ходе эволюции именно таким, каким он известен сегодня. Исчезновение даже одного из них непоправимо. Однако ни для

кого не секрет, что только за последние 300 лет с лица Земли полностью исчезли более 150 видов животных, а другие 600 видов находятся на грани безвозвратной утраты — такова жестокая дань непредусмотрительной деятельности человека.

Конечно, за последние годы многое изменилось, и изменилось к лучшему. Люди постараются оставить грядущим поколениям не пустоши, а зеленый наряд планеты со всеми ее обитателями, которых они сами разделили на полезных и вредных... В природе нет такого деления. Сотни и тысячи видов приспособились друг к другу за миллионы лет существования жизни на Земле.

Нашу планету образно сравнивают с космическим кораблем, плывущим в просторах Вселенной. И надежная система обеспечения его существования — вся биосфера.

По мнению известных астрономов К. Сагана и Ф. Дрейка, Вселенная несомненно достаточно велика (10^{11} галактик и в каждой по 10^{11} звезд), и вероятность жизни за пределами Земли существует. Другое дело, совершенно невозможно предсказать, сложилось ли благоприятно стечение условий, необходимых для ее возникновения, как именно развивалась и каким путем в дальнейшем пойдет эволюция на другой планете.

Однако писатели-фантасты уже описывают жителей далеких планет, куда впервые ступает нога отважных и находчивых землян-космонавтов.

Под пером авторов иные внеземные существа, особенно «выросшие» до гиганских размеров свирепые членистоногие, в первую очередь насекомые, выглядят, прямо скажем, страшновато и мрачно. Но давайте пофантазируем и представим себя космонавтами-первопроходцами, ступившими на еще безымянную планету. Ее животный мир представлен пока только насекомыми.

Вооруженные не испепеляющими все живое пистолетами-бластерами, а знаниями химического языка насекомых, исследователи расшифруют формулы феромонов инопланетных страшилищ. Ведь какими бы ни были эти членистоногие, но и у них должна быть система нервных узлов, которая «работает» с момента рождения животного и осуществляет его инстинктивное поведение по заданной генетической программе. Люди создадут синтетические аналоги феромонов, обладающих очень высокой активностью, и получат в руки мощное защитное средство. Это позволит космонавтам изучать планету без опасения подвергнуться нападению и причинить вред ее обитателям в целях самозащиты.

В гармонии сосуществования при разнообразии и богатстве живой природы человек не имеет права допустить ни оскудения, ни уничтожения даже одного единственного вида — это непоправимый урон и для живущих ныне, и для будущих поколений.

Мы все в ответе за чудесный и неповторимый мир, который назван биосферой.

Нам жить вместе!

СОДЕРЖАНИЕ

От авторов 5

Запахи в жизни насекомых 9

Азбука общения живых организмов 9
«Молекулы любви» 17
Мозаика запахов 26
Усики-локаторы 48

Диалог двух царств 60
Крылатые опылители 60
Растения-ловушки 63
Опасные связи 65
«Ах, картошка — объеденье!» 68
Общество «взаимных услуг» 69
Обманутый муравей 70
Защитные яды растений 73
Любит... не любит... 76
Ну, дерево, берегись! 78
Невольные соучастники 80

Тайны молекул 84

Следствие ведут знатоки 84
По образу и подобию 96

Операция «искусственная самка» 103

«Троянский конь» энтомологов 103
С ловушкой на «диверсантов» 111

Нам жить вместе 125

Валерий Михайлович Балаян,
Роберт Манусович Короткий

ХИМИЧЕСКИЙ ЯЗЫК НАСЕКОМЫХ

Зав. редакцией *Т. С. Микаэльян*
Редактор *А. А. Федоров*
Художники *Ю. Н. Владимиров*
и Ф. Е. Терлецкий
Художественный редактор *С.В. Соколов*
Технический редактор *Н. В. Новикова*
Корректор *Т. Н. Бобрикова*

ИБ № 4384

Сдано в набор 20.01.87. Подписано к печати 09.04.87. Т-09841. Формат $84\times108^1/_{32}$. Бумага кн.-журн. № 2. Гарнитура Школьная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,56. Усл. кр.-отт. 15,54. Уч.-изд. л. 7,45. Изд. № 164. Тираж 60 000 экз. Заказ № 59. Цена 25 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 17.